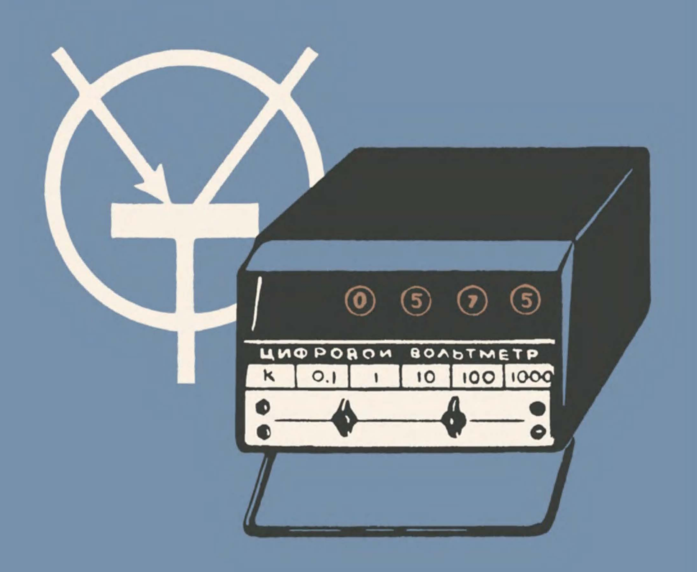
В. К. СОНИН



ЦИФРОВОЙ ВОЛЬТМЕТР НА ТРАНЗИСТОРАХ





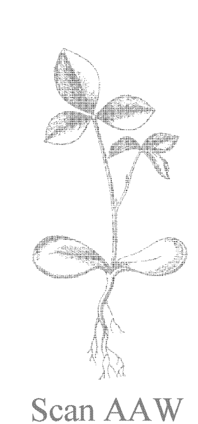
МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 780

В. К. СОНИН

ЦИФРОВОЙ ВОЛЬТМЕТР НА ТРАНЗИСТОРАХ





«ЭНЕРГИЯ»
МОСКВА 1971

6Ф2.08
С 62
УДК 621.317.725

Сонин В. К.

С 62 Цифровой вольтметр на транзисторах. М., «Энергия», 1971.

40 с. с ил. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 780).

Описаны схема и конструкция малогабаритного цифрового вольтметра на транзисторах с питанием от сети. Схема выполнена с применением печатного монтажа. Однотипные узлы — модульной конструкции. Индикация измерения осуществляется газоразрядными цифровыми индикаторами типа ИН-2.

Брошюра предназначена для подготовленных радиолюбителей.

3-4-5
344-70

6Ф2.08

ПРЕДИСЛОВИЕ

В последние годы все большее распространение получают цифровые измерительные приборы. Применение приборов с цифровой индикацией (ЦИ) вместо стрелочных дает возможность повысить точность и скорость измерений, сделать измерения более удобными, практически полностью устранить глазомерные ошибки, а также автоматизировать измерительные процессы.

Высокая точность измерения цифровых приборов обеспечивается путем сравнения измеряемой величины со стабильными образцовыми мерами, а также снятием ограничений на точность отсчета, налагаемых конечными размерами шкал стрелочных приборов.

К достоинствам цифровых вольтметров, выгодно отличающих их от стрелочных приборов, относятся: высокая точность измерения (0,1—0,005%); широкий диапазон измеряемых напряжений; индикация результатов измерения в цифровой форме; возможность автоматического выбора шкал и полярности измеряемых напряжений; подключение цифропечатающего устройства для регистрации результатов измерений; возможность ввода информации в цифровую вычислительную машину.

К недостаткам цифровых вольтметров относятся: сложность схемы, высокая стоимость, меньшая надежность и сравнительно большие габариты, чем у стрелочных. Однако применение в схемах полупроводниковых приборов позволяет создать достаточно малогабаритные цифровые вольтметры.

В предлагаемой читателю книге рассматривается один из вариантов цифровых вольтметров с преобразованием измеряемого напряжения в цифровой код методом взвешивания или поразрядного кодирования.

Печатный монтаж, модульная конструкция и полупроводниковые элементы обеспечили возможность изготовления прибора небольших габаритов.

Автор

ПАРАМЕТРЫ, ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И БЛОК-СХЕМА

Цифровой вольтметр, внешний вид которого приведен на рис. 1, предназначен для измерения напряжений постоянного тока с цифровой индикацией показаний. В приборе применены газоразрядные цифровые индикаторы типа ИН-2. Электрическая схема прибора выполнена на транзисторах.



Рис. 1. Внешний вид цифрового вольтметра.

Основные электрические параметры вольтметра следующие:

диапазон измеряемых напряжений 0 — 1 000 *в* разбит на пять поддиапазонов: I — (0 — 0,1 *в*); II — (0 — 1 *в*); III — (0 — 10 *в*); IV — (0 — 100 *в*); V — (0 — 1 000 *в*);

входные сопротивления по поддиапазонам I — V соответственно равны 0,1, 1, 10, 100 и 1000 *Мом*;

погрешность измерения на каждом поддиапазоне (—) не более 0,2%;

время измерения 260 *мсек*;

время показания 500 *мсек*;

максимально возможное значение измеряемого напряжения 1 599 *в*;

потребляемая мощность 20 *ва*.

Прибор питается от сети напряжения 127 или 220 *в*, 50 *гц*. Вес прибора 2,5 *кг*. Габаритные размеры: 144×95×210 *мм*.

Вольтметр обеспечивает автоматическое определение полярности измеряемого напряжения.

Наличие в схеме прибора фильтра фона позволяет производить измерения с фоном переменного напряжения без потери точности. Допустимые амплитудные значения напряжения фона равны: 8 *мв* на I, 150 *мв* на II, 7 *в* на III и 70 *в* на IV и V поддиапазонах.

В цифровом вольтметре используется метод кодо-импульсного преобразования, который основан на сравнении измеряемого напряжения со ступенчато изменяющимся по определенному закону образцовым напряжением. Этот способ преобразования называется «способом взвешивания». Процесс измерения напоминает взвешивание груза на рычажных весах. Измеряемое напряжение сравнивается (компенсируется) со ступенчато изменяемым образцовым напряжением обратной полярности. Каждая ступень компенсирующего напряжения имеет вполне определенное, убывающее по двоичному закону распределения значение. Весь период компенсации разбит во времени на этапы-циклы (по числу разрядов) сравнения. Измеряемое напряжение сравнивается сначала с величиной напряжения старшего разряда. Если величина напряжения этого разряда больше, чем величина измеряемого напряжения, то этот разряд выключается и включается разряд с меньшей величиной образцового напряжения. Если же компенсирующее напряжение окажется меньше измеряемого, то разряд остается включенным до конца цикла измерения. Таким образом, производится последовательное приближение величины образцового напряжения к измеряемому. Сумма компенсирующих напряжений от всех разрядов после окончания цикла измерения станет равной измеряемой величине с точностью до значения величины младшего разряда.

После окончания цикла измерения состояние управляющего устройства фиксируется на время, необходимое для считывания показаний с цифровых индикаторов.

Блок-схема вольтметра изображена на рис. 2. Измеряемое напряжение подается на входной делитель напряжения *1*. К делителю при помощи переключателя фильтра $П'_2$ может быть подключен блок конденсаторов *2* для уменьшения влияния фона переменного напряжения на точность измерения. Уменьшенное до необходимой величины напряжение подается на вход сумматора *3*, осуществляющего сложение измеряемого и образцового напряжений обратной полярности. Сумма измеряемого и образцового напряжений модулируется с частотой 50 *гц* при помощи реле-прерывателя *10*. Образцовое напряжение изменяется ступенчато по командам управляющего устройства. Сигнал суммирования, усиленный усилителем *4*, запускает ждущий мультивибратор *5*. Импульс, вырабатываемый ждущим мультивибратором, подается в схему совпадений *6*. На схему совпадений подается также переменное напряжение сети. При преобладании измеряемого напряжения над образцовым из схемы совпадений поступит импульс отрицательной полярности на электронный ключ *12*, у которого на время действия импульса сопротивление будет близко к нулю. Электронный ключ подключен к цепям управления счетными триггерами управляющего устройства.

Управляющее устройство включает в себя: схему определения полярности измеряемого напряжения (первое звено *М1-1* временного распределителя импульсов и счетный триггер *М2-1*); схему форми-

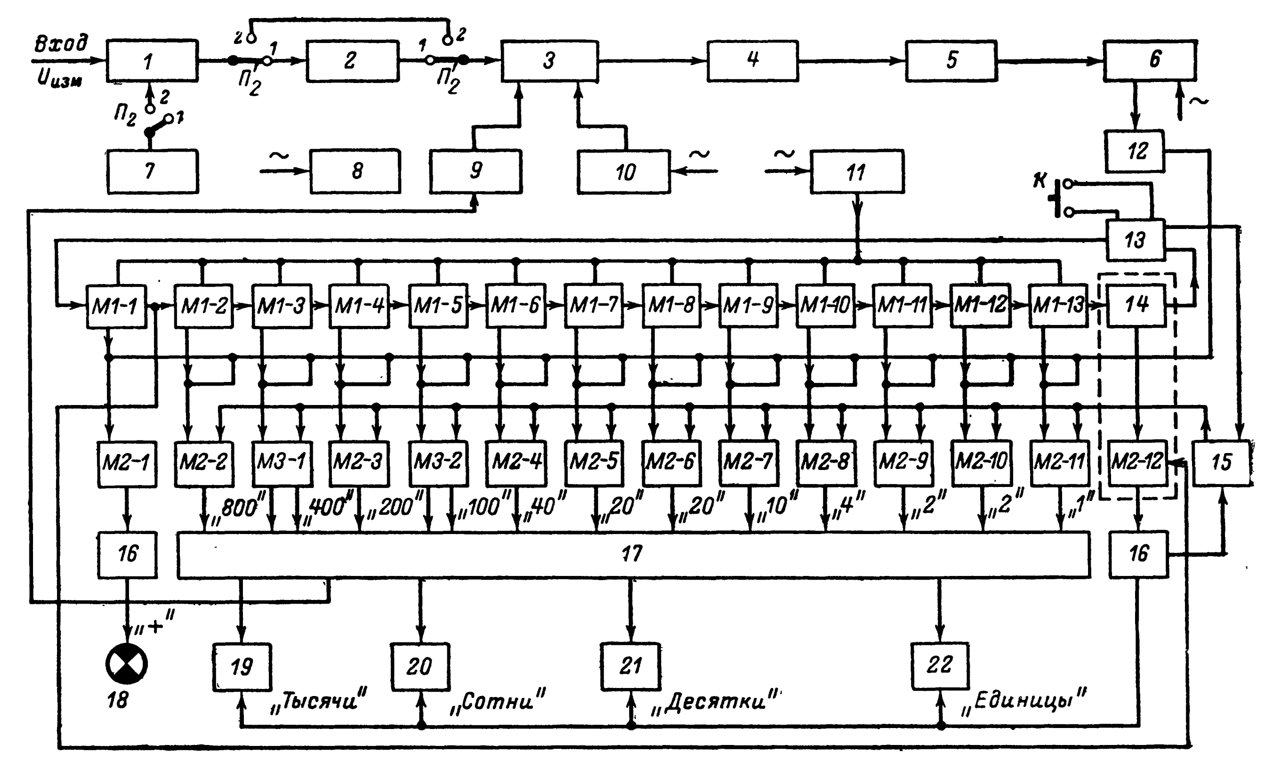


Рис. 2. Блок-схема вольтметра.

рования тактовых импульсов *11*; схему формирования импульса сброса счетных триггеров *15*; схему формирования запускающего импульса цикла *13* и схему выдержки индикации *14*. Каждая ячейка *М1-1 — М1-13* управляет соответствующим счетным триггером *М2-1 — М2-11* и *М3-1 — М3-2* временного распределителя импульсов.

При поступлении запускающего импульса на первую ячейку временного распределителя производится определение полярности измеряемого напряжения. В случае, когда полярность измеряемого напряжения отрицательная, счетный триггер *М2-1* при поступлении тактового импульса вернется в исходное состояние, если же полярность напряжения положительная — триггер останется в переброшенном состоянии. При этом реле *16* подаст питание на лампу индикации положительного напряжения *18* и подключит к узлу суммирования образцовое напряжение соответствующей полярности.

Одновременно с поступлением запускающего импульса схема формирования импульса сброса *15* вырабатывает импульс, устанавливающий счетные триггеры в исходное состояние, при котором реле, переключающию делитель образцовых напряжений, обесточены.

В дальнейшем временной распределитель импульсов синхронизируется тактовыми импульсами до тех пор, пока все счетные триггеры последовательно будут опрошены. Релейный дешифратор *17*, управляемый сигналами счетных триггеров, преобразует двоичный код в десятичный, а также переключает делитель образцовых напряжений *9*. Десятичный код используется для управления цифровыми индикаторами *19 — 22*.

Сигнал последней ячейки временного распределителя поступает на реле выдержки *14*, обеспечивающее индикацию результата измерения в течение 500 *мсек*. После погасания индикаторов *19 — 22* схема приводится в исходное состояние.

Прибор может работать в двух режимах: непрерывного и одиночного измерения. В режиме непрерывного измерения весь цикл измерения периодически повторяется, а в режиме одиночного измерения схема остается в исходном состоянии до поступления команды, подаваемой с помощью кнопки *К* запуска цикла одиночного измерения.

Для калибровки прибора предусмотрена подача эталонного напряжения в схему измерения от встроенного в прибор нормального элемента *7*. Измерительная схема регулируется таким образом, чтобы цифровые индикаторы показывали напряжение нормального элемента при положительной и отрицательной полярностях его включения.

В качестве питающего устройства прибора используется стабилизированный выпрямитель.

Образцовыми напряжениями служат два стабилизированные кремниевыми стабилитронами напряжения *5*, *6* в разной полярности, получаемые с помощью делителей напряжения.

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА

Измеряемое напряжение подается на входные гнезда прибора и поступает на делитель напряжений, управляемый переключателем $П_1$ (рис. 3). Переключатель имеет пять положений, соответствующих поддиапазонам измерения *I—V*. В зависимости от положения переключателя изменяются сопротивления в плечах делителя или сопротивление на входе усилителя.

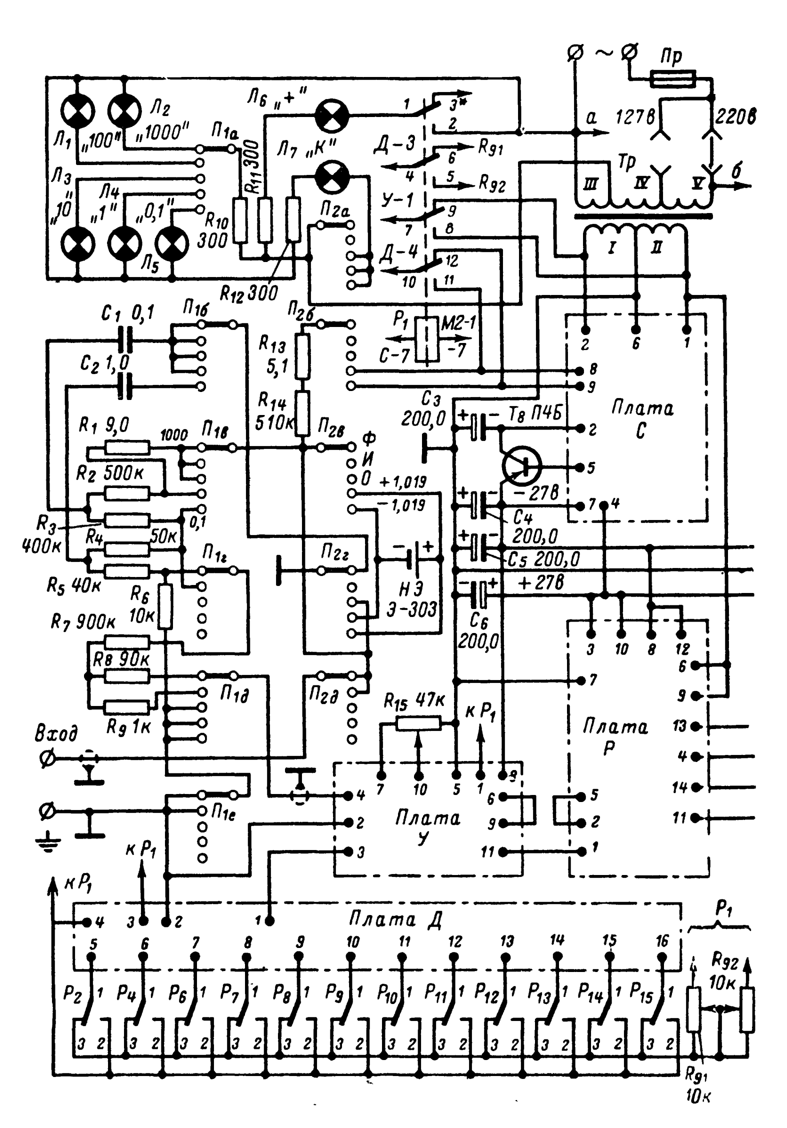
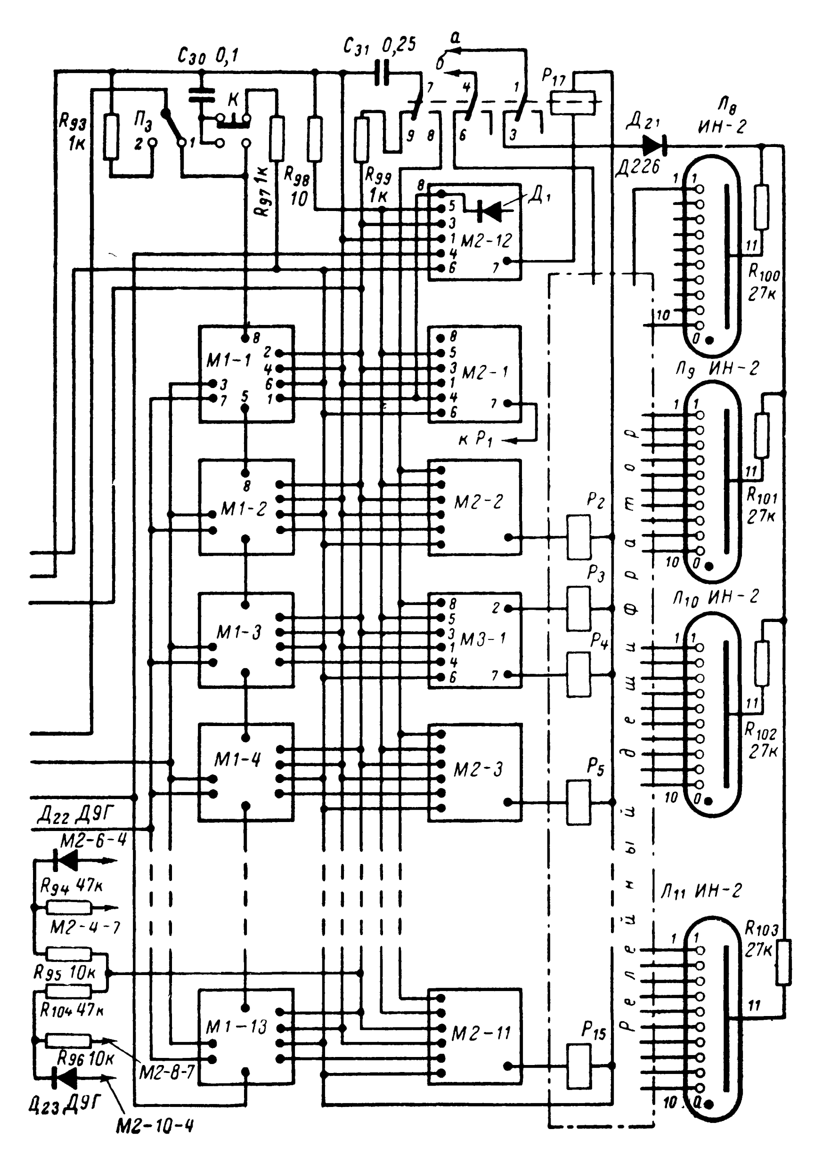


Рис. 3. Принципиальная схема



цифрового вольтметра.

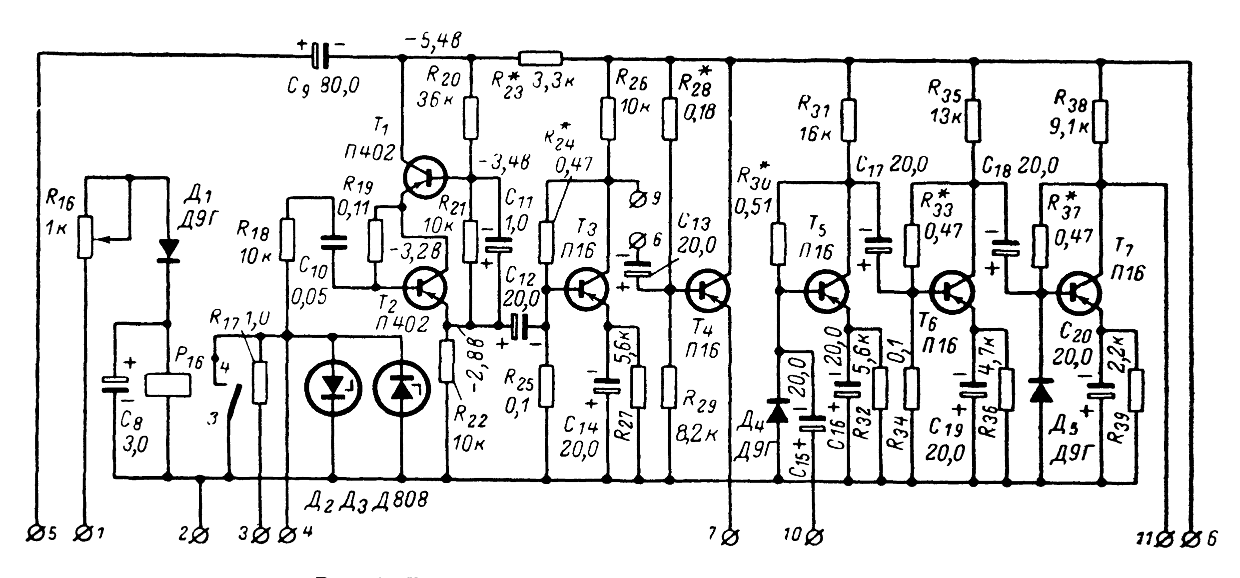


Рис. 4. Принципиальная схема усилителя (плата У).

Калибровка прибора производится от нормального элемента типа Э-303 напряжением 1,019 *в*. Включение эталонного источника напряжения производится в положении переключателя $П_2$ *+1,019* или *—1,019*, при этом эталонный источник включается или положительным полюсом, или отрицательным полюсом на вход усилителя. При калибровке разрывается цепь от входного гнезда прибора и этим предотвращается одновременное попадание на вход усилителя измеряемого и эталонного напряжений.

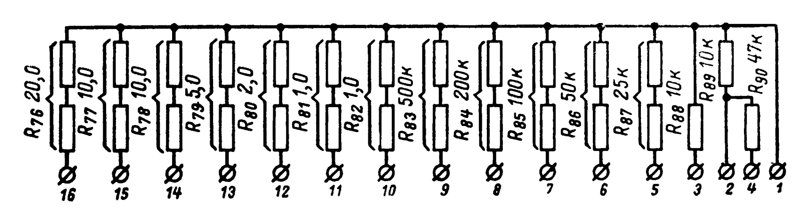


Рис. 5. Принципиальная схема платы делителя образцовых напряжений (плата *Д*).

Для увеличения долговечности и повышения стабильности напряжения нормального элемента отдаваемый им ток в нагрузку сведен к минимуму за счет подпитки от источника образцового напряжения (контакты *8* и *9* платы *С*) через сопротивления R_{13} и R_{14}. При переключении полярности эталонного источника напряжения одновременно переключается полярность напряжения подпитки от образцового источника.

К делителю напряжения при помощи переключателя $П_2$ могут быть подключены конденсаторы C_1 или C_2, которые вместе с сопротивлениями делителя образуют Т-образные *RC*-фильтры. Фильтры обеспечивают ослабление фона переменного напряжения, в результате чего достигается повышение точности измерения. Конденсаторы фильтра подключаются к точкам делителя между сопротивлениями резисторов $R_2 — R_3$ и $R_4 — R_5$.

Уменьшенное до необходимой величины измеряемое напряжение поступает на вход *4* усилителя (плата *У*). Схема усилителя приведена на рис. 4. На вход *3* усилителя подается образцовое напряжение с выхода *1* платы делителя образцовых напряжений (плата *Д*).

Принципиальная схема платы делителя образцовых напряжений показана на рис. 5.

На входе усилителя происходит суммирование токов образцового и исследуемого источников напряжений.

Для защиты усилителя от попадания большого напряжения при неправильной установке переключателя поддиапазонов измерения на входе его включены кремниевые стабилитроны $Д_2$ и $Д_3$. При превышении напряжения 0,5 *в* один из стабилитронов, к которому приложено прямое напряжение, начинает проводить ток. Таким образом, напряжение на входе усилителя при любой полярности не превышает 0,5 *в*. Постоянное напряжение суммирования модулируется с частотой 50 *гц* при помощи контактов *3*, *4* реле-прерывателя $Р_{16}$. Эти контакты периодически на время 10 *мсек* замыкают вход усилителя с корпусом прибора. При этом на вход усилителя подаются

прямоугольные импульсы с частотой 50 *гц*, амплитуда которых пропорциональна напряжению суммирования.

Реле-прерыватель P_{16} питается пульсирующим напряжением, сформированным из переменного напряжения сети при помощи однополупериодного выпрямителя на диоде $Д_1$. Конденсатор C_8 и резистор R_{16} служат для регулировки времени размыкания контактов реле-прерывателя. Сопротивление резистора R_{16} устанавливается таким, чтобы время размыкания контактов было равно 10 *мсек*. При этом обеспечивается длительность импульсов на входе усилителя 10 *мсек* при скважности 2.

Усилитель предназначен для получения импульсов, достаточных для запуска ждущего мультивибратора управляющего устройства при наличии на его входе прмоугольных импульсов с частотой 50 *гц* и амплитудой, пропорциональной напряжению суммирования во всем диапазоне измеряемых напряжений.

Усилитель состоит из шести каскадов. Для получения высокого входного сопротивления (1 *Мом*) первый каскад выполнен по схеме эмиттерного повторителя каскодного типа. Высокое входное сопротивление достигается благодаря сильной отрицательной обратной связи. Получаемый на эмиттере транзистора T_2 сигнал через цепь C_{11} R_{21} подается на базу транзистора T_1, эмиттерная цепь которого включена последовательно с коллектором транзистора T_2. Для сигнала обратной связи транзистор T_1 является эмиттерным повторителем.

Поэтому на коллекторе транзистора T_2 действует напряжение, совпадающее по фазе с входным напряжением сигнала и приблизительно такой же амплитуды. Ток смещения транзистора T_2 поступает через резистор R_{19} на базу транзистора, где происходит компенсация входного сигнала, в результате чего эффективное значение сопротивления смещения значительно превышает номинальное сопротивление резистора R_{19}. Полное входное сопротивление каскада тем выше, чем ближе к единице коэффициенты передачи каждого из эмиттерных повторителей на транзисторах T_1 и T_2, т. е. чем выше коэффициенты усиления по току α этих транзисторов.

С эмиттера транзистора T_2 прямоугольный импульс через дифференцирующую цепочку, образованную C_{12}, R_{25} и входным сопротивлением T_3, подается на вход пятикаскадного усилителя. Режимы работы усилителя выбраны таким образом, что усиливается только положительный импульс, поступающий с дифференцирующей цепочки. Для улучшения согласования первого усилительного каскада он нагружен эмиттерным повторителем на транзисторе T_4. В эмиттерную цепь повторителя включено сопротивление R_{15} (см. рис. 3), служащее для регулировки чувствительности усилителя. Этим же сопротивлением устанавливается «нуль» прибора. На коллекторе последнего каскада усилителя получается положительный импульс. Так как амплитуда входного сигнала может значительно изменяться, то для ограничения динамического диапазона усилителя на входе транзисторов T_5 и T_7 включены диоды $Д_4$ и $Д_5$, ограничивающие отрицательный входной сигнал каскада на уровне 0,3—0,5 *в*. Каждый усилительный каскад охвачен отрицательной обратной связью при помощи сопротивления, включенного между коллектором и базой транзистора. Этим же сопротивлением задается постоянное смещение на базу транзистора.

Положительный импульс с выхода усилителя подается на вход

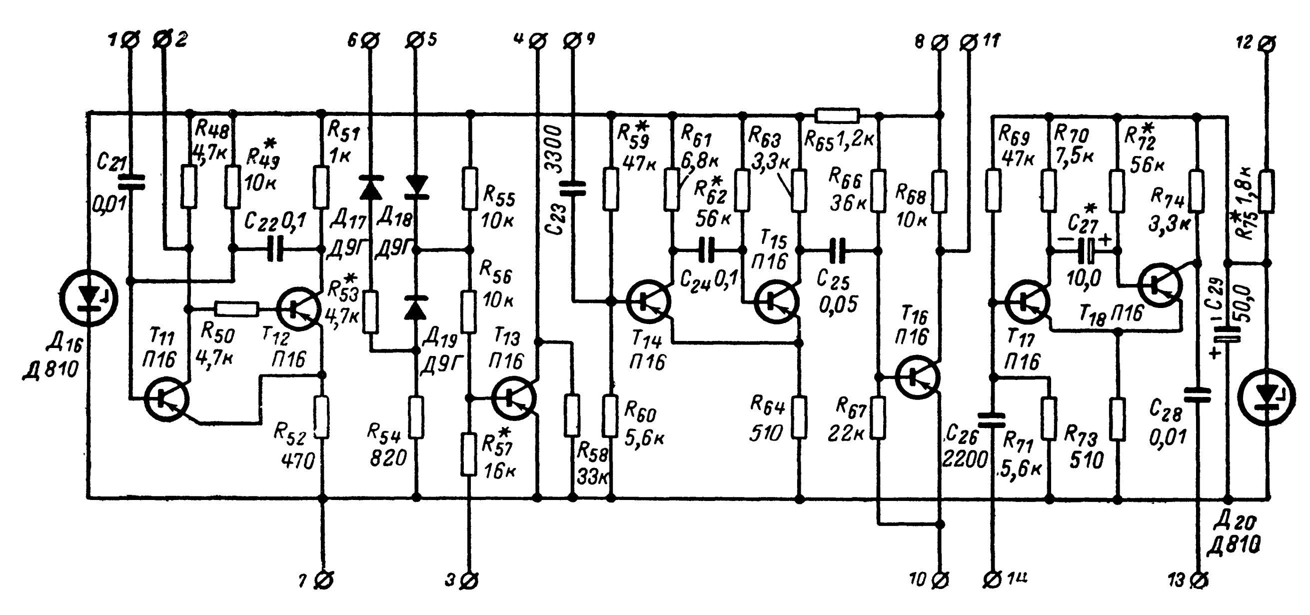


Рис. 6. Принципиальная схема платы *P*.

ждущего мультивибратора (плата P), собранного на транзисторах T_{11}—T_{12} (рис. 6).

Кроме этого мультивибратора, в плату входят: схема совпадений на диодах $Д_{18}$, $Д_{19}$; электронный ключ на транзисторе T_{13}; схема формирования тактовых импульсов на транзисторах T_{14}, T_{15}, T_{16}; ждущий мультивибратор выдержки индикации на время 500 *мсек* на транзисторах T_{17}, T_{18}.

Ждущий мультивибратор на транзисторах T_{11}—T_{12} предназначен для формирования импульса отрицательной полярности длительностью 8 *мсек*. Длительность импульса, сформированного ждущим мультивибратором, определяется параметрами цепочки $R_{49} C_{22}$. В исходном состоянии транзистор T_{11} отперт отрицательным смещением через резистор R_{49}, а транзистор T_{12} заперт. При поступлении положительного импульса с усилителя транзистор T_{11} запрется, и отрицательный импульс с его коллектора поступит на вход схемы совпадений, собранной на диодах $Д_{18}$, $Д_{19}$.

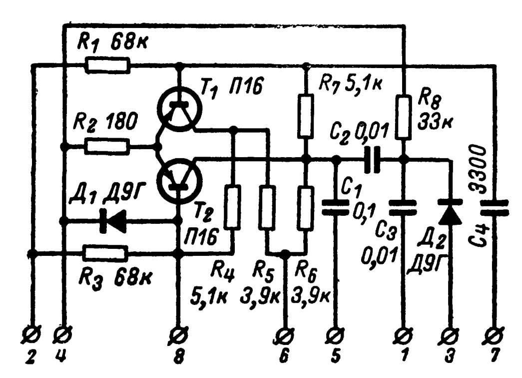


Рис. 7. Принципиальная схема модуля *М1*.

На диод $Д_{19}$ подается пульсирующее отрицательное напряжение, полученное из переменного напряжения сети при помощи диода $Д_{17}$.

При совпадении импульса, поступающего со ждущего мультивибратора, и полупериода пульсирующего напряжения на выходе схемы совпадений появится отрицательный импульс длительностью 8 *мсек*.

Со схемы совпадений отрицательный импульс поступает на электронный ключ, собранный на транзисторе T_{13}. Электронный ключ служит для шунтирования цепи управления счетных триггеров управляющего устройства. На коллектор ключа поступают отрицательные импульсы из управляющего устройства. Транзистор заперт положительным смещением на базе через резистор R_{57}, поэтому сопротивление коллекторной цепи определяется в основном сопротивлением резистора R_{58}. При этом отрицательные импульсы, поступающие из управляющего устройства, будут поступать на входы соответствующих триггеров *М2* или *М3*. Если со схемы совпадений на базу транзистора T_{13} поступит отрицательный импульс, транзистор отопрется и сопротивление коллекторной цепи будет близко

к нулю. При этом цепь управления триггерами *M2* и *M3* будет зашунтирована для отрицательных импульсов на корпус прибора через переход коллектор—эмиттер транзистора T_{13}. Для положительных импульсов цепи управления транзистор T_{13} всегда будет представлять большое сопротивление.

Таким образом, большое сопротивление коллекторной цепи транзистора T_{13} для отрицательных импульсов указывает на то, что образцовое напряжение больше измеряемого или они равны.

Схема формирования тактовых импульсов состоит из ждущего мультивибратора на транзисторах T_{14} и T_{15} и усилителя на транзисторе T_{16}. Ждущий мультивибратор предназначен для сдвига тактовых импульсов относительно начала отрицательного полупериода переменного напряжения, снимаемого со вторичной обмотки трансформатора *Тр*. На коллекторе транзистора T_{15} получаются отрицательные прямоугольные импульсы длительностью 5 *мсек* с частотой следования 50 *имп/сек*. Эти импульсы дифференцируются цепочкой $C_{25}R_{67}$ и поступают на базу транзистора T_{16}. Транзистор запирается срезом импульса, вырабатываемым мультивибратором на время 0,5 *мсек*, при этом на его коллекторе возникают отрицательные тактовые импульсы такой же длительности, которые подаются в схему временного распределителя импульсов.

Временной распределитель импульсов состоит из 13 последовательно включенных одинаковых триггеров (модули *M1-1—M1-13*) с двумя устойчивыми состояниями, ждущего мультивибратора схемы выдержки показаний, являющегося последним звеном цепи, и схемы запуска цикла. Принципиальная схема триггера (модуль *M1*) представлена на рис. 7.

Все триггеры до начала цикла находятся в состоянии, когда транзистор T_1 отперт, а T_2 заперт. В такое состояние их приводят отрицательные тактовые импульсы, подаваемые через конденсаторы C_4 каждого модуля *M1* на базу транзистора T_1. При поступлении на базу транзистора T_2 отрицательного запускающего импульса триггер переходит в другое устойчивое состояние, при этом транзистор T_2 отпирается и на его коллекторе появляется положительный перепад напряжений.

Триггер вернется в исходное состояние только при поступлении на базу T_1 очередного отрицательного тактового импульса, при этом на коллекторе T_2 появится отрицательный перепад напряжений. Таким образом, на коллекторе T_2 модуля *M1-1* образуется положительный прямоугольный импульс длительностью 20 *мсек*. Этот прямоугольный импульс дифференцируется цепочкой C_1 модуля *M1-1*, R_3 модуля *M1-2* и поступает на базу транзистора T_2 модуля *M1-2*. Так как модуль *M1-2* находится в исходном состоянии, когда транзистор T_2 заперт, то изменение его состояния произойдет только при поступлении отрицательного импульса (сформированного из среза импульса транзистора T_2 модуля *M1-1*), и триггер будет оставаться в таком состоянии до прихода следующего тактового импульса. Срез импульса, возникающий на коллекторе T_2 модуля *M1-2*, произведет переключение триггера модуля *M1-3*.

Таким образом, происходит последовательное переключение всех 13 триггеров временного распределителя импульсов. Последний триггер *M1-13* включит ждущий мультивибратор выдержки показаний. Фронтом импульса мультивибратора опрокинется триггер модуля *M2-12*. При этом реле P_{17}, включенное в коллектор транзистора T_1, подключит к цепи *ЦИ* напряжение питания (рис. 3 и 10).

Ждущий мультивибратор, собранный на транзисторах T_{17} и T_{18} (см. рис. 6), представляет собой схему с одним устойчивым состоянием. Длительность импульса на коллекторе транзистора T_{18} определяется параметрами цепочки $C_{27}R_{70}$. Длительность импульса подобрана таким образом, чтобы обеспечить выдержку свечения цифровых индикаторов для удобства считывания показаний, и составляет приблизительно 500 *мсек*. Для защиты ждущего мультивибратора от случайного срабатывания при прохождении импульсных помех из сети питания параллельно стабилитрону $Д_{20}$ включен электролитический конденсатор C_{29}.

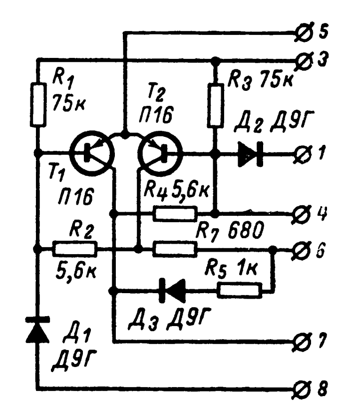


Рис. 8. Принципиальная схема модуля *М2*.

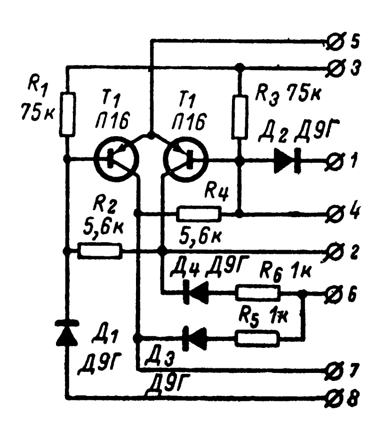


Рис. 9. Принципиальная схема модуля *М3*.

Срезом импульса, вырабатываемого ждущим мультивибратором, происходит включение триггера *М1-1* (см. рис. 3) в том случае, если переключатель $П_3$ находится в положении *1* (непрерывное измерение). Если же переключатель $П_3$ находится в положении *2* (одиночное измерение), то для запуска цикла пересчета нужно подать отрицательный импульс на вход триггера *М1-1*, для чего кнопкой *К* надо замкнуть цепь разряда конденсатора C_{30}. Конденсатор C_{30}, предварительно заряженный отрицательным напряжением через сопротивление R_{97}, разрядится через сопротивление R_3 и вход транзистора T_2 триггера. Триггер *М1-1* изменит свое состояние и цикл пересчета повторится снова. Одновременно запускающим импульсом производится переключение триггера модуля *М2-12* в исходное состояние.

Каждый триггер переменного распределителя импульсов выдает импульсы на свой счетный триггер. Импульсы с коллектора T_2 модулей *М1* (рис. 7) дифференцируются цепочкой C_2R_8 и через конденсатор C_3 поступают на базы транзисторов T_2 счетных триггеров *М2* или *М3* (рис. 8 и 9).

Триггеры *М2* и *М3* отличаются только тем, что *М2* нагружен на одно электромагнитное реле (нагрузка в коллекторе транзистора T_1), а *М3* на два реле (нагрузка в коллекторах обоих транзисторов).

До начала цикла измерения все счётные триггеры находятся в состоянии, когда T_2 отперт, а T_1 заперт, поэтому все реле за исключением P_3 и P_5 обесточены.

Определение полярности измеряемого напряжения производится следующим образом. При включении цикла измерения на вход триггера *M1-1* поступит запускающий импульс и переведет его в другое устойчивое состояние; при этом на коллекторе транзистора T_2 появится положительный перепад напряжения. Этот перепад напряжения, пройдя через дифференцирующую цепочку C_2R_8 и конденсатор C_3, поступит на базу транзистора T_2 модуля *M2-1* в виде остроконечного положительного импульса. Этим импульсом триггер переключится в другое устойчивое состояние, и сработает реле P_1, включенное в коллекторную цепь транзистора T_2.

Триггер *M1-1* вернется в исходное состояние только при поступлении на базу транзистора T_1 очередного тактового импульса, при этом на коллекторе транзистора T_2 возникнет отрицательный перепад напряжения. Этим перепадом напряжения триггер *M2-1* может быть переведен в исходное состояние при условии, что в момент переключения электронный ключ на транзисторе T_{13} заперт, т. е. цепь управления триггерами *M2* и *M3* имеет по отношению к корпусу прибора сопротивление около 30 *ком* для отрицательных импульсов. Если в момент прихода тактового импульса электронный ключ будет отперт и сопротивление цепи управления триггерами будет иметь по отношению к корпусу прибора сопротивление, близкое к нулю, то отрицательный импульс не поступит на базу транзистора T_2 триггера *M2-1* и он останется в переброшенном состоянии.

Управление состоянием электронного ключа производится следующим образом. Измеряемое напряжение на входе усилителя модулируется с частотой 50 *гц* при помощи реле-прерывателя P_{13}, контакты которого периодически замыкают вход усилителя на корпус в течение 10 *мсек*. На вход усилителя при этом поступают прямоугольные импульсы с амплитудой, пропорциональной входному сигналу. В начале цикла измерения при поступлении на временной распределитель импульсов запускающего импульса включится реле P_1, при этом напряжение с делителя образцовых напряжений на сумматор поступать не будет, и на входе усилителя появится сигнал прямоугольной формы, имеющий полярность измеряемого напряжения. Прямоугольный импульс дифференцируется, и усиливается только остроконечный положительный импульс. Этим импульсом производится запуск ждущего мультивибратора с длительностью импульса 8 *мсек*, собранного на транзисторах T_{11} и T_{12}. Этот импульс поступит на схему совпадений на диодах $Д_{18}$ и $Д_{19}$. На второй вход схемы совпадений подается пульсирующее напряжение, полученное при помощи диода $Д_{17}$ из переменного напряжения сети. При определении полярности измеряемого напряжения фаза сетевого напряжения, поступающего на схему совпадений, выбрана таким образом, что при положительном измеряемом напряжении на схему совпадений одновременно поступал бы импульс со ждущего мультивибратора и полупериод пульсирующего напряжения. Тогда на выходе схемы совпадений появится отрицательный импульс длительностью 8 *мсек*. Этот импульс поступит на вход электронного ключа, который на время его действия замкнет накоротко цепь управления счетными триггерами для отрицательного отключающего импульса. Таким образом, когда поступит очередной тактовый импульс, триг-

гер *М2-1* останется в переброшенном состоянии, реле полярности P_1 останется включенным до конца цикла измерения и слева от *ЦИ* загорится знак «+».

Если измеряемое напряжение имеет отрицательную полярность, то полученный в результате модулирования и последующего дифференцирования усиленный остроконечный импульс сдвинется во времени относительно пульсирующего напряжения, поступающего на схему совпадений, на 10 *мсек*. Таким образом, импульс со ждущего мультивибратора и пульсирующее напряжение, поступающие на схему совпадений, не будут совпадать по времени, на выходе не появится отрицательный импульс и электронный ключ будет иметь большое сопротивление как для положительных, так и для отрицательных управляющих импульсов. Следовательно, при поступлении очередного тактового импульса триггер *М2-1* под действием отрицательного импульса вернется в исходное состояние и отключит реле полярности P_1.

Реле полярности, помимо включения индикации положительного напряжения, также переключает полярность питания делителя образцовых напряжений таким образом, чтобы она была всегда противоположна полярности измеряемого напряжения.

Вследствие того, что источники положительного и отрицательного образцовых напряжений могут незначительно отличаться друг от друга, калибровка прибора производится раздельно для положительных и отрицательных напряжений разными потенциометрами R_{91} и R_{92}. Поэтому реле полярности одновременно производит переключение и регулирующих потенциометров. Четвертая группа контактов производит переключение фазы питания реле-прерывателя для согласования фазы модулированного входного напряжения с пульсирующим напряжением, подаваемым на схему совпадений.

Сигналы, поступающие с триггера *М1-2* временного распределителя импульсов, управляют включением и отключением счетного триггера *М2-2* и реле P_2.

Каждое реле P_2—P_{15} производит переключение делителя образцовых напряжений (за исключением реле P_3 и P_5) при помощи одной группы контактов. Изменение образцового напряжения при включении реле приведено ниже, причем приведены не абсолютные величины образцовых напряжений, а эквиваленты входных напряжений для диапазона 1 000 *в* (т. е. те входные напряжения, которые балансируются соответствующими образцовыми напряжениями).

Реле	P_2	P_4	P_6	P_7	P_8	P_9	P_{10}	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{14}	P_{15}
Эквиваленты образцовых напряжений	800	400	200	100	40	20	20	10	4	2	2	1

Для того чтобы гарантировать, что число 4 получится от реле *4*, а не от суммы двух реле *2*, в группах «десятков» и «единиц» одно из двух реле в каждой группе (P_{10} и P_{14}) подсоединяется через диоды $Д_{22}$ и $Д_{23}$ к входам четырех модулей *М2-4* и *М2-8*. Такое соединение гарантирует, что реле *2* не включится до тех пор, пока не сработает реле *4*.

Остальные контакты реле P_2—P_{15} используются в качестве релейного дешифратора преобразования двоичного кода для пересчета на 15 (реле P_2—P_7) — индикация «тысяч» и «сотен» и на 10 (реле P_8—P_{11}; P_{12}—P_{15}) — индикация «десятков» и «единиц». Схема релейного дешифратора приведена на рис. 10; состояния реле для получения показаний цифровых индикаторов показаны в табл. 1, 2, 3.

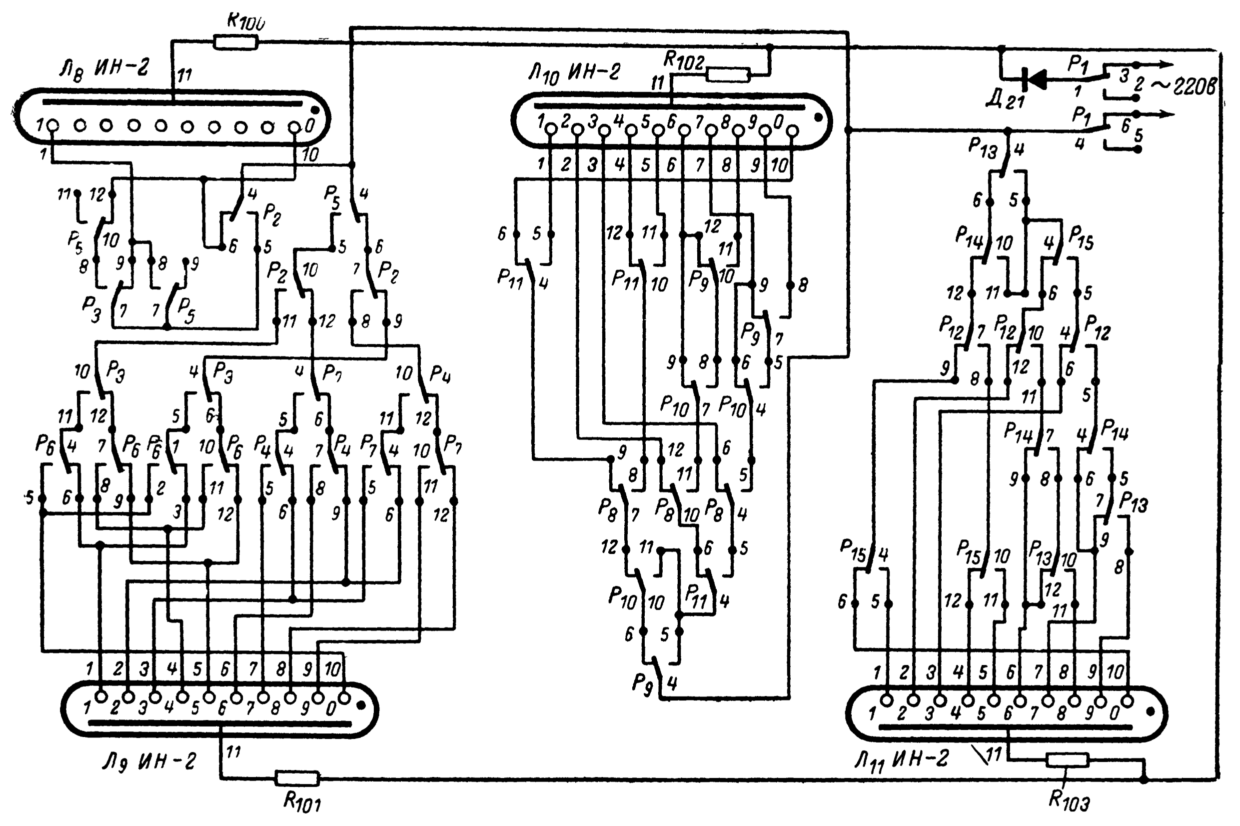


Рис. 10. Принципиальная схема релейного дешифратора.

Таблица 1

Показания ЦИ $Л_8$ и $Л_9$	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
P_2	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+	+	+	+	+	+	+
P_3	+	+	+	+	—	—	—	—	+	+	+	+	—	—	—	—
P_4	—	—	—	—	+	+	+	+	—	—	—	—	+	+	+	+
P_5	—	—	+	+	—	—	+	+	—	—	+	+	—	—	+	+
P_6	+	—	+	—	+	—	+	—	+	—	+	—	+	—	+	—
P_7	—	+	—	+	—	+	—	+	—	+	—	+	—	+	—	+

Примечание. „+" — реле включено, „—" — реле обесточено.

Отрицательный импульс с выхода триггера *М1-13*, запускающий ждущий мультивибратор, поступает также на триггер *М2-12*, нагрузкой которого является реле выдержки P_{17}. Реле остается отключенным на все время работы ждущего мультивибратора, если схема находится в режиме непрерывного измерения.

Таблица 2

Показания ЦИ $Л_{10}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P_8	—	—	—	—	+	+	+	+	+	+
P_9	—	—	+	+	—	—	+	+	+	+
P_{10}	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+
P_{11}	—	+	—	+	—	+	—	+	—	+

Отключение триггера *М2-12* производится отрицательным запускающим импульсом, поступающим на базу транзистора T_2 модуля *М2-1*. Таким образом, если схема находится в режиме одиночного измерения, то реле выдержки останется выключенным до тех пор, пока не будет включен следующий цикл кнопкой *К*. В триггере *М2-12* диод $Д_1$ включен в обратной полярности по сравнению с диодами других триггеров *М2*.

Таблица 3

Показания ЦИ $Л_{11}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P_{12}	—	—	—	—	+	+	+	+	+	+
P_{13}	—	—	+	+	—	—	+	+	+	+
P_{14}	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+
P_{15}	—	+	—	+	—	+	—	+	—	+

Две группы контактов реле выдержки P_{17} включают напряжение 220 *в* на цифровые индикаторы $Л_8$—$Л_{11}$, причем на аноды индикаторов напряжение подается через диод $Д_{21}$ и анодные сопротив-

ления R_{100}—R_{103}, а на соответствующий катод *ЦИ* — через контакты реле P_2—P_{15} в соответствии с табл. 1—3.

Через третью группу контактов реле P_{17} и резистор R_{99} происходит заряд конденсатора C_{31} положительным напряжением. При включении реле P_{17} положительный импульс с конденсатора подается через диоды $Д_1$ на триггеры *М2* и *М3* (за исключением *М2-1* и *М2-12*) и устанавливает их в исходное состояние (когда реле, управляющие делителем образцового напряжения, обесточены).

Таким образом, управляющее устройство приводится в исходное состояние и оказывается подготовленным к началу следующего цикла измерения.

Питание цифрового вольтметра производится от сети переменного тока напряжением 127 или 220 *в*. В цепь первичной обмотки трансформатора включен плавкий предохранитель *Пр*. Напряжение питания ЦИ берется непосредственно от сетевой обмотки трансформатора на напряжение 220 *в*. Питание ламп подсвета напряжением 10 *в* производится от специального отвода сетевой обмотки через резисторы R_{10}, R_{11} и R_{12}.

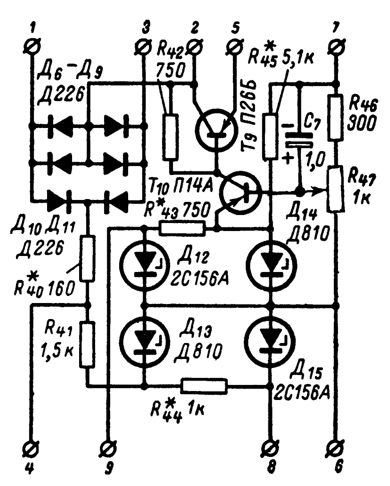


Рис. 11. Принципиальная схема платы *С*.

С понижающей обмотки трансформатора, имеющей отвод от середины обмотки, переменное напряжение подается на два двухполупериодных выпрямителя (плата *С*). Принципиальная схема платы приведена на рис. 11. Выпрямитель положительного напряжения собран на диодах $Д_{10}$, $Д_{11}$, а выпрямитель отрицательного напряжения — на включенных параллельно по два диода в плече $Д_6$—$Д_9$.

Выпрямленное положительное напряжение через Т-образный фильтр, состоящий из резисторов R_{40}, R_{41} и конденсатора C_6, подается на кремниевый стабилитрон $Д_{13}$ для получения стабилизированного напряжения +10 *в* и через резистор R_{44} — на стабилитрон $Д_{15}$ для получения стабилизированного напряжения +5,6 *в*, являющегося источником образцового напряжения. Нестабилизированное напряжение +27 *в* снимается с конденсатора C_6 (см. рис. 3).

Выпрямленное отрицательное напряжение подается в схему электронного стабилизатора напряжений, собранного на мощном транзисторе T_8 типа П4Б, для получения тока нагрузки 0,4 *а*. Управление током транзистора T_8 производится транзисторами T_9 и T_{10}. Опорное напряжение схемы стабилизации получается на кремниевом стабилитроне $Д_{14}$. Ток через стабилитрон зависит от сопротивления резистора R_{45} и лежит в пределах 3—10 *ма*.

Стабилизированное напряжение может регулироваться в широких пределах потенциометром R_{47}. Для сглаживания пульсации на

входе и выходе стабилизатора включены электролитические конденсаторы C_3, C_4 и C_5. Напряжение — 5,6 *в* для питания делителя образцового напряжения снимается со стабилитрона $Д_{12}$. Ток стабилизации устанавливается сопротивлением R_{43} и должен быть не менее 3 *ма*.

ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЕТАЛИ

В цифровом вольтметре применены стандартные малогабаритные радиоэлементы и детали, позволившие смонтировать сложный прибор в сравнительно небольшом объеме.

Схема прибора собрана на 72 транзисторах, 93 полупроводниковых диодах, 16 электромагнитных реле типа РЭС-22 (сопротивление обмотки 750 *ом*, ток срабатывания 20 *ма*, рабочее напряжение 24 *в*). Реле имеют четыре группы контактов на переключение.

Индикация измерений производится четырьмя цифровыми индикаторами типа *ИН-2*, которые установлены в специальных одиннадцатиштырьковых ламповых панелях типа ПЛ11-1П.

В приборе могут быть использованы и другие цифровые индикаторы, например *ИН-1*, но в этом случае габариты прибора придется значительно увеличить и подобрать другие сопротивления резисторов R_{100}—R_{103}.

Модули *М1*, *М2* и *М3* собраны на транзисторах типа П16. Для обеспечения четкой работы триггеров необходимо подобрать транзисторы по парам с одинаковыми характеристиками по коэффициенту усиления α и обратному току коллектора $I_{ко}$. В триггерах можно использовать транзисторы с коэффициентом усиления α не менее 0,96. В случае применения транзисторов типа МП16 (с увеличенной высотой корпуса) необходимо увеличить ширину прибора на 25—30 *мм* и длину распорных втулок между платами на 2—2,5 *мм*.

В модулях использованы полупроводниковые диоды типа Д9Г, но можно ставить любые маломощные диоды с допустимым обратным напряжением не менее 30 *в*.

В модулях использованы малогабаритные резисторы типа УЛМ-0,12, МТ-0,125 или МЛТ-0,25 и конденсаторы типа МБМ емкостью 0,1 *мкф* и БМ емкостью 0,01 *мкф*.

Для получения возможно большего входного сопротивления усилителя транзисторы T_1 и T_2 должны иметь максимальный коэффициент усиления α по току и одинаковые характеристики. Остальные транзисторы усилителя должны иметь коэффициент усиления α не менее 0,97.

Конденсаторы усилителя: электролитические типа ЭТО-1 или ЭМ: резисторы УЛМ-0,12 или МЛТ-0,25.

Реле-прерыватель переделан из электромагнитного реле типа РЭС-15. Целью переделки является ограничение хода якоря реле для уменьшения его «дребезга». Реле-прерыватель необходимо настраивать до установки его на плату, чтобы не повредить печатный монтаж.

Трансформатор питания собран на сердечнике из пластин трансформаторной стали Ш19, толщина набора 26 *мм*. Обмотки трансформатора расположены в следующей последовательности: сначала намотаны обмотки *I* и *II* (обе намотки укладываются в каркас одновременно), затем начало обмотки *I* припаивается к концу обмотки *II*, после чего наматываются обмотки *III*, *IV* и *V* Обмотки *I* и *II* содержат по 300 витков провода ПЭВ 0,44; обмотка *III*—80

витков провода ПЭВ 0,18; обмотка *IV*—960 витков провода ПЭВ 0,18; обмотка *V*—760 витков провода ПЭВ 0,18.

Полупроводниковые диоды выпрямителя—типа Д226 (в выпрямителе отрицательного напряжения по 2 диода, включенные параллельно для получения выпрямленного тока до 0,5 *а*).

Кремниевые стабилитроны $Д_2$, $Д_3$, $Д_{13}$, $Д_{14}$, $Д_{15}$, $Д_{20}$—типа Д808 Д813, а для стабилизации образцового напряжения два стабилитрона типа 2С156А с напряжением стабилизации 5,6 *в*.

Конденсаторы емкостью до 15 *мкф*—типа ЭМ, К-50 или «Tesla» емкостью свыше 80 *мкф* типа ЭТО-2 или К-50.

Переключатели поддиапазонов измерения и рода работ — малогабаритные галетные типа ПМ5П6Н, переключатель непрерывного и одиночного измерения типа МТ-1, а кнопка включения одиночного измерения типа КМ-1-1.

Для регулировки величины стабилизированного напряжения 27 *в* и длительности импульса реле-прерывателя использованы малогабаритные переменные проволочные резисторы типа СП5-2.

В делителе образцового напряжения и входном делителе применяются резисторы МЛТ мощностью 0,5 *вт* для сопротивлений менее 5 *Мом* и 1 *вт* для сопротивлений от 5 до 20 *Мом.*

Резисторы R_{40}, R_{42} блока питания—мощностью 2 *вт* типа С5-5, R_{41} мощностью 1 *вт*.

КОНСТРУКЦИЯ

На рис. 12 показаны печатные соединения платы усилителя и вид ее со стороны деталей.

Реле-прерыватель прижат к плате скобой, которая крепится к плате винтом *М2*. Цоколевка реле-прерывателя показана на его корпусе; расположение контактов соответствует его виду со стороны выводов (как в радиолампах).

На плате *Д* распаиваются резисторы после их подбора при помощи электронного моста. От точности подбора сопротивлений резисторов будет зависеть точность работы прибора.

Для облегчения подбора каждое сопротивление составлено из двух резисторов, соединенных последовательно. Методика подбора сопротивлений подробно изложена в разделе «настройка прибора».

Печатные соединения и монтаж плат *Д, Р, С* приведены на рис. 13, 14, 15.

Монтаж прибора полностью выполнен на печатных платах.

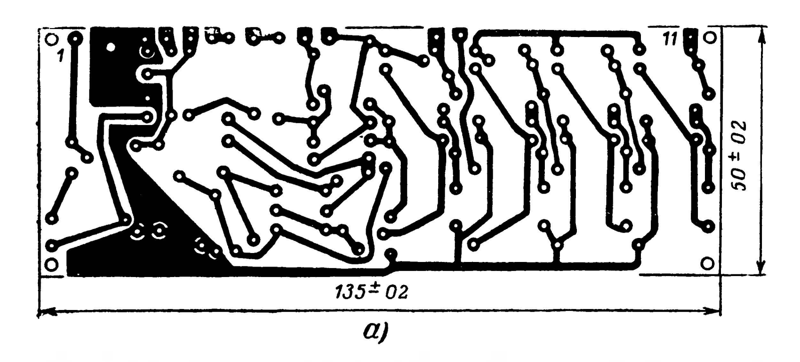
Выполнение триггерных схем в виде модулей определяется возможностью использования их в различных частях схемы, как стандартного элемента, а также позволяет полнее использовать объем прибора, набирая их в блоки этажерочного типа.

Каждый триггер временного распределителя импульсов выполнен в виде модуля *М1*. В вольтметре использованы 13 модулей, обозначенных с *М1-1* по *М1-13*. Обозначения элементов модуля даны независимо от обозначения общей схемы вольтметра. Печатные соединения и вид со стороны деталей приведены на рис. 16. Два отверстия диаметром 2,7 *мм* предназначены для сборки модулей в блок, состоящий из 13 плат (модули *М1-1* по *М1-13*).

Счетные триггеры *М2* и *М3* выполнены также в виде отдельных модулей. Для модулей *М2* и *М3* использованы одинаковые печатные платы (рис. 17, *а*). Монтаж модулей *М2* и *М3* показан на рис. 17, *б* и 18. Сборка модулей в блок производится в следующей последовательности: *М2-1*, *М2-2*, *М3-1*, *М2-3*, *М3-2*, *М2-4—М2-11*.

Электрические соединения между модулями, собранными в блок, производятся перемычками из одножильного медного провода диаметром 0,2 *мм*.

Входной делитель напряжения на сопротивлениях R_1 — R_9 смонтирован непосредственно на переключателе $П_1$. Каждое сопротивление состоит из двух резисторов, включенных последовательно. Все сопротивления делителя подбираются так же, как и делитель образцовых напряжений, с большой точностью.



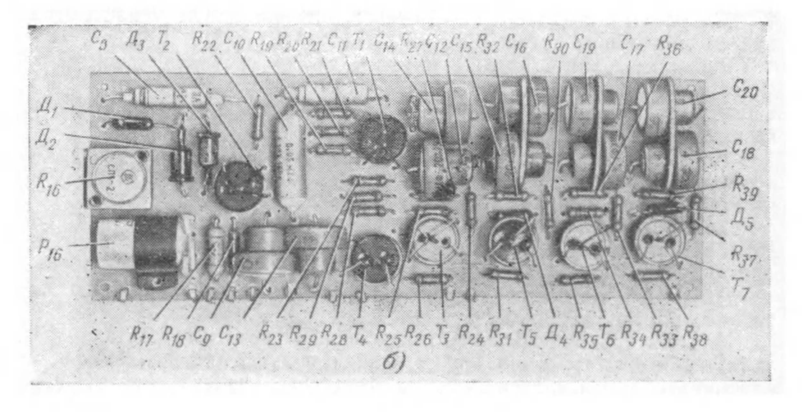
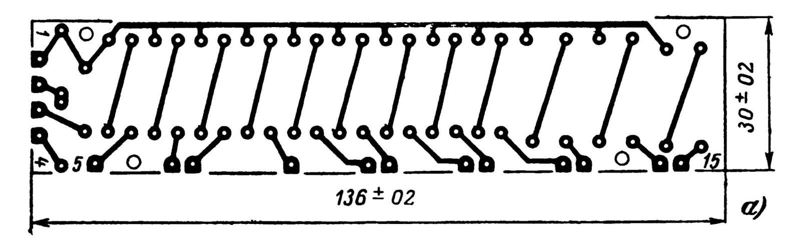


Рис. 12. Плата *У*.
а — печатные соединения; *б* — вид со стороны деталей.

Элементы схемы запуска цикла установлены на колодке рядом с кнопкой одиночного измерения *К*. Реле $Р_{17}$, через контакты которого подается напряжение на цифровые индикаторы, управляется модулем *М2-12*, расположенным отдельно на шасси прибора. Непосредственно на контактах реле $Р_{17}$ распаяны элементы схемы сброса счетных триггеров.

Соединения между отдельными платами выполнены монтажным проводом сечением 0,12 *мм*^{2}. Для уменьшения наводок проводники от входных гнезд и делителя образцовых напряжений необходимо выполнять экранированным проводом.

При монтаже следует обратить особое внимание на качество заземления проводов и экранирование усилителя. При увеличенных наводках, соизмеримых с входным сигналом, нужно подобрать опытным путем точку заземления платы усилителя на шасси.



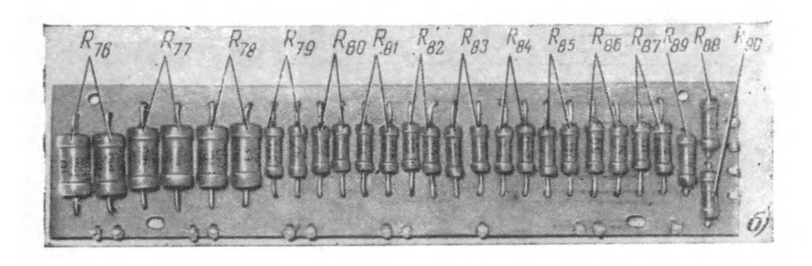


Рис. 13. Плата *Д*.

а — печатные соединения; *б* — вид со стороны деталей.

Печатные платы изготовлены методом химического травления фольгированного стеклотекстолита. Толщина всех плат 1,5 *мм*. Для получения рисунка печатной платы необходимо предварительно изготовить негатив с приведенных в книге рисунков в нужном масштабе. Негатив должен быть очень контрастным для получения качественного отпечатка на эмульсии.

На обезжиренную заготовку со стороны фольги следует нанести слой кислотоупорного лака. Можно использовать шеллачный лак или любой нитролак. Затем на поверхность, покрытую лаком, наносится 2—3 слоя светочувствительной эмульсии. Рецепт и способ приготовления эмульсии достаточно подробно изложены в литературе[1].

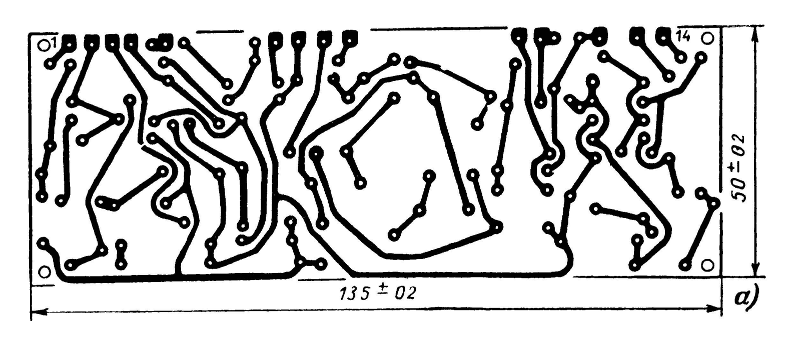
На высушенную эмульсию накладывается негатив и экспонируется светом мощной лампы (время экспозиции подбирается опытным путем), затем изображение проявляется в теплой воде. В результате проявления на заготовке должен появиться рисунок печатной платы в тех местах, которые были засвечены (на негативе светлые места — проводники). С незасвеченных участков эмульсия должна полностью удалиться водой.

Перед травлением плату тщательно протирают растворителем для удаления лака с участков, подлежащих травлению. Травить

[1] Справочник фотолюбителя под общей редакцией С. А. Иофиса, изд-во «Искусство», 1961.

фольгу нужно в растворе хлорного железа плотностью 1,3. После травления оставшиеся под эмульсией участки фольги (проводники) очищают от эмульсии в растворе щелочи, а от пленки лака — растворителем. Для того чтобы проводники лучше паялись, их можно посеребрить любым из доступных способов.

Эскиз конструкции вольтметра показан на рис. 19. Общий вид без кожуха приведен на рис. 20, *а*, *б*, детали конструкции — на рис. 21.



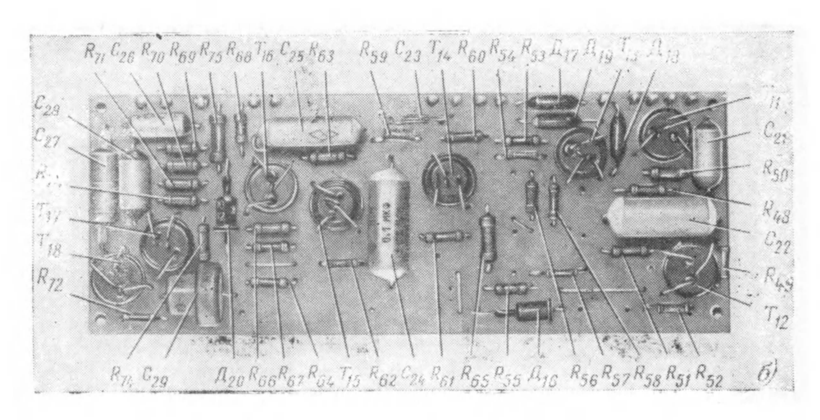
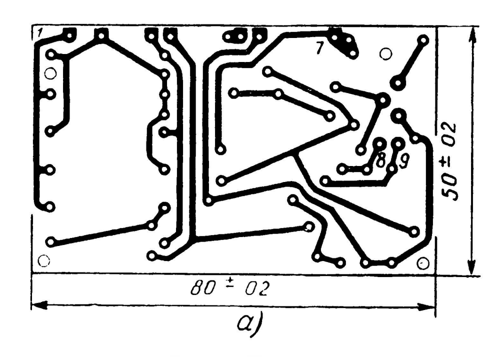


Рис. 14. Плата *Р*.

а — печатные соединения; *б* — вид со стороны деталей.

Все элементы конструкции расположены на разборном шасси *1* (здесь и дальше в тексте приводится нумерация деталей, показанных на рис. 21). Задняя стенка *2* крепится при помощи винтов к шасси прибора. В верхней части расположен кронштейн *3* с одиннадцатиштырьковыми ламповыми панелями для цифровых индикаторов. На этом же кронштейне на двух пятиконтактных колодках распаяны анодные резисторы индикаторов R_{100}—R_{103} и выпрямительный диод $Д_{21}$. В нижней отогнутой части кронштейна имеются два паза для регулировки положения цифровых индикаторов от-

носительно лицевой панели. Кронштейн крепится к шасси двумя винтами через эти пазы. Рядом с кронштейном установлены два блока реле. Каждый блок состоит из семи реле типа РЭС-22, укрепленных на скобе *4*. К одному из блоков под гайки реле крепятся два кронштейна *5* для закрепления платы делителя образцовых



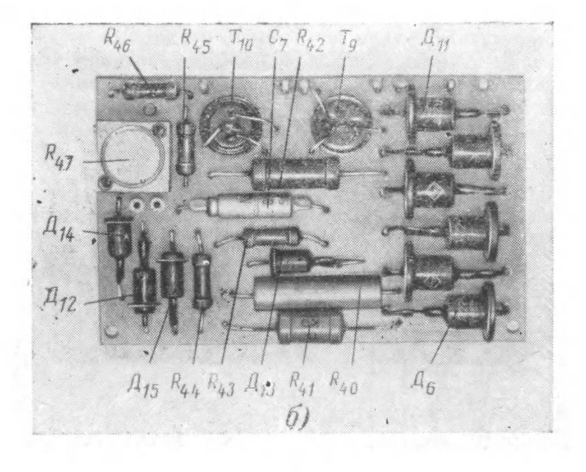
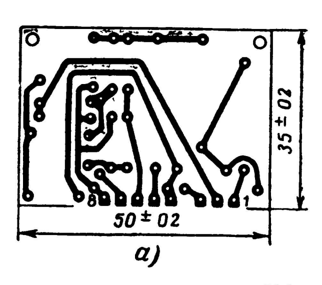


Рис. 15. Плата *С*.

а — печатные соединения; *б* — вид со стороны деталей.

напряжений (платы *Д*). Рядом с платой *Д* находится блок счетных триггеров. Каждая триггерная ячейка выполнена на отдельной плате в виде модуля. В блок собраны 13 модулей, которые соединены между собой двумя шпильками диаметром 2,5 *мм* с распорными втулками длиной 9 *мм*. Блок крепится к шасси уголками, имеющими резьбовые отверстия М2,5 для шпилек. На задней стенке расположены три потенциометра типа СПО-0,5 (для калибровки вольтметра и установки «нуля») и предохранитель питания. Кроме того, к задней стенке крепится двумя винтами источник эталонного напряже-

ния — нормальный элемент. На передней стенке шасси закреплены переключатели рода работ и поддиапазонов измерения, а также переключатель и кнопка одиночного измерения.



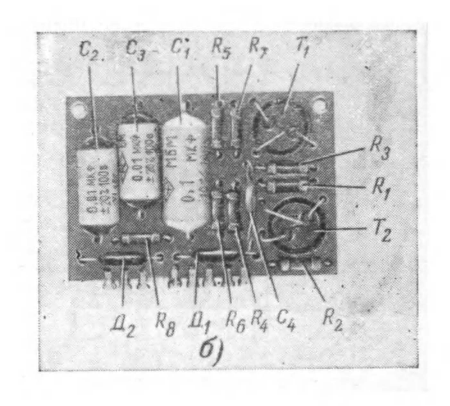
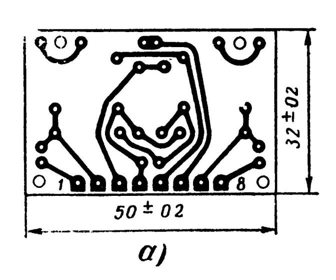


Рис. 16. Плата модуля *М1*.
а — печатные соединения; *б* — вид со стороны деталей.

В подвале шасси рядом с переключателями находится плата усилителя *У*. Для уменьшения наводок плата отделена от остального монтажа с двух сторон металлическими экранами, толщиной 0,5 *мм*. Плата усилителя крепится к экрану при помощи четырех винтов М2 и шайб толщиной 2 *мм*. С другой стороны к экрану крепится плата с элементами управляющего устройства (плата *Р*).



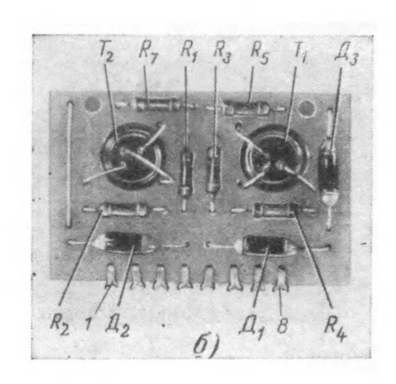


Рис. 17. Плата модуля *М2*.
а — печатные соединения; *б* — вид со стороны деталей.

Элементы временного распределителя импульсов выполнены в виде отдельных модулей и собраны так же, как и счетные триггеры, в блок этажерочного типа. Всего в блок входит 13 модулей, соединенных между собой двумя шпильками диаметром 2,5 *мм* с распорными втулками длиной 9 *мм*.

Рядом с блоком установлён трансформатор питания, отделенный от остального монтажа экраном, и плата с элементами блока питания (плата *С*). Мощный транзистор стабилизатора напряжений укреплен на экране трансформатора и изолирован от него прокладкой из слюды. Большая площадь экрана способствует хорошему отводу тепла от корпуса мощного транзистора. Электролитические конденсаторы ЭТО-2 блока питания расположены отдельно от платы *С* и припаяны к колодкам, установленным на шасси прибора.

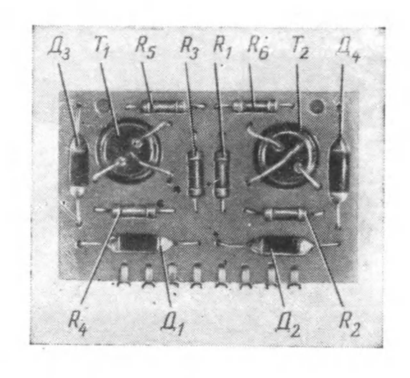


Рис. 18. Плата модуля *М3* (вид со стороны деталей).

Передняя стенка прибора закрыта декоративной панелью *6* с козырьком, которая разделена на три части. Верхняя часть панели имеет отверстия для цифровых индикаторов и указателя полярности и закрыта спереди серым фильтром. Между отверстиями индикаторов расположены четыре отверстия диаметром 3 *мм*, которые подсвечиваются лампами типа СМ-36 и указывают положение десятичного знака (точку).

В средней части панели расположены табло, указывающие, на каком поддиапазоне измерения находится переключатель поддиапазонов. Табло подсвечиваются теми же лампами, что и десятичные знаки.

Блоки подсветки *7* десятичных знаков и табло поддиапазонов измерения выполнены в виде отдельных светопроводов из органического стекла. Светопровод полируется со всех сторон, включая

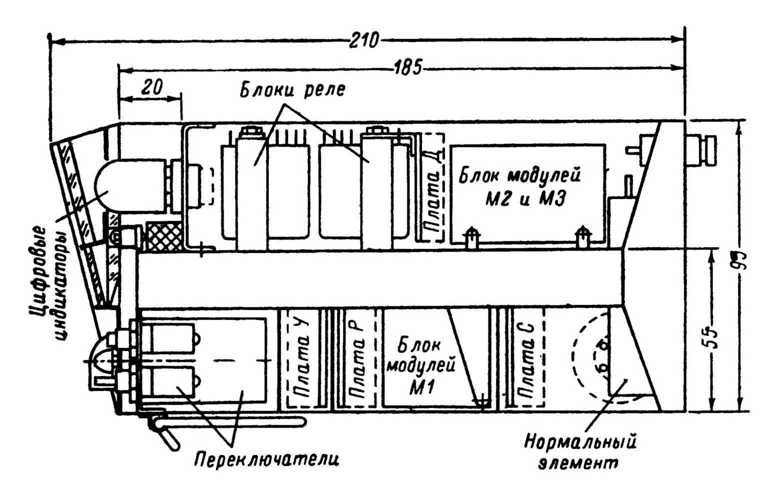
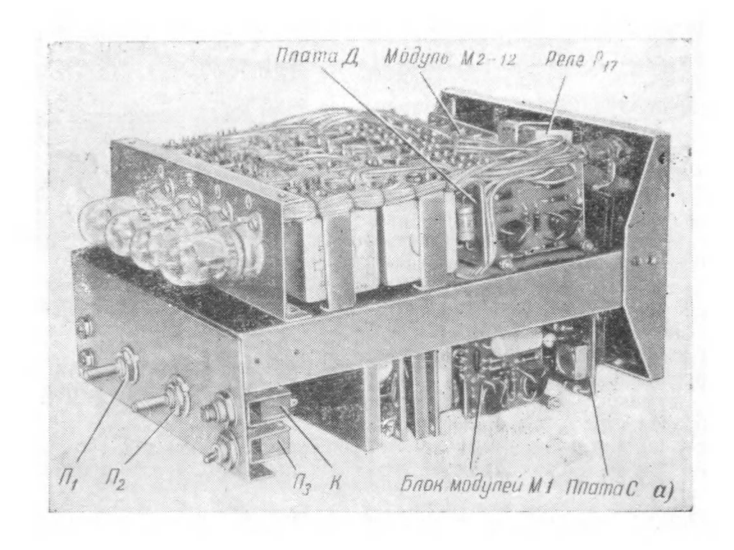


Рис. 19. Эскиз конструкции вольтметра.

отверстие диаметром 5 *мм,* затем плоскости красятся сначала белой, затем черной краской, как показано на рисунке. Поверхности светопровода перед скошенными участками и в отверстиях нужно предохранить от попадания краски. Светопроводы крепятся каждый двумя винтами М1,6 к передней стенке шасси таким образом, чтобы большая скошенная поверхность находилась напротив табло, а



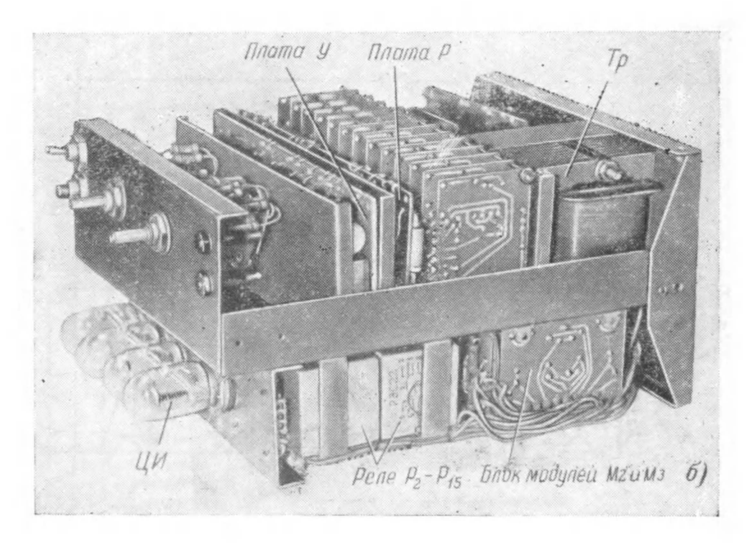
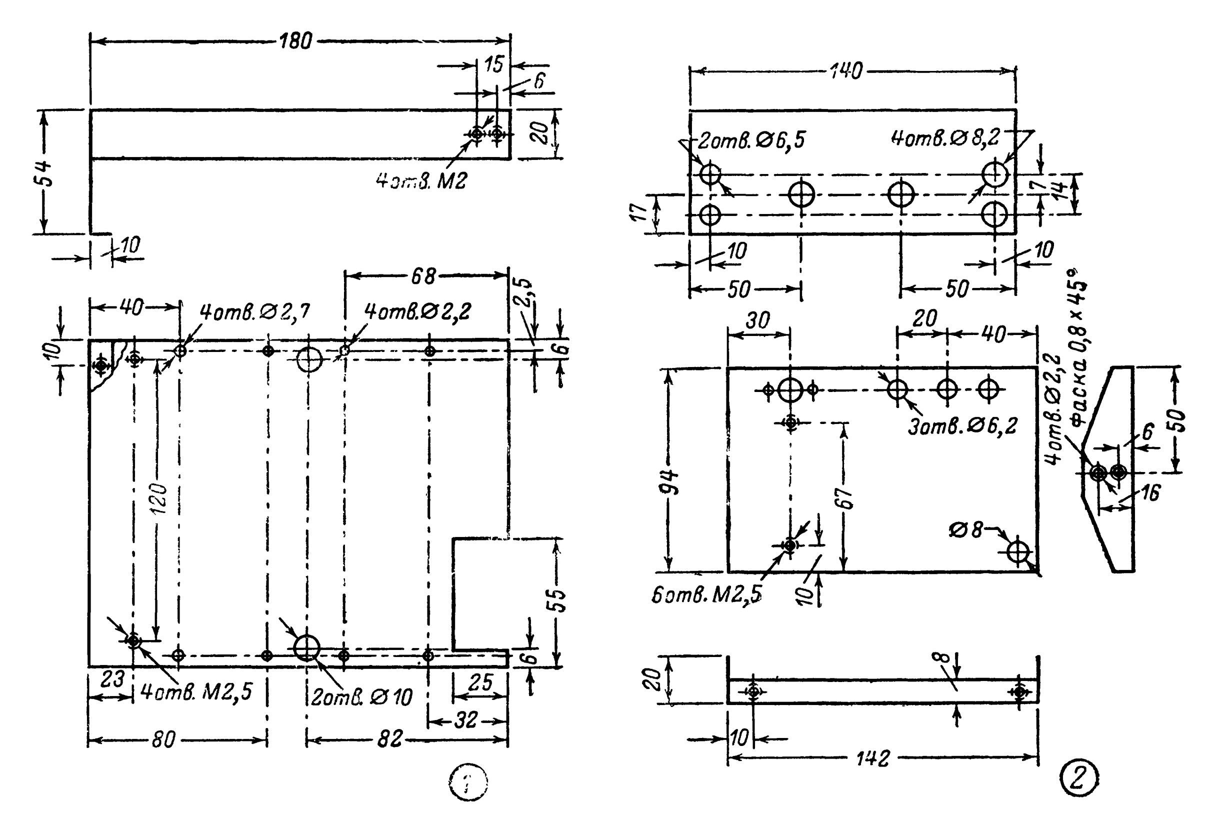


Рис. 20. Внешний вид вольтметра без кожуха.



180
15
6
20
54
10
4отв. M2
68
2,5
40
4отв. Ø2,7
4отв. Ø2,2
10
6
120
55
6
23
4отв. M2,5
2отв. Ø10
25
32
80
82
1
140
2отв. Ø6,5
4отв. Ø8,2
17
7
14
10
10
50
50
30
20
40
3отв. Ø6,2
4отв. Ø2,2
Фаска 0,8 x 45°
94
67
50
6
16
Ø8
6отв. M2,5
10
20
8
10
142
2

Рис. 21.

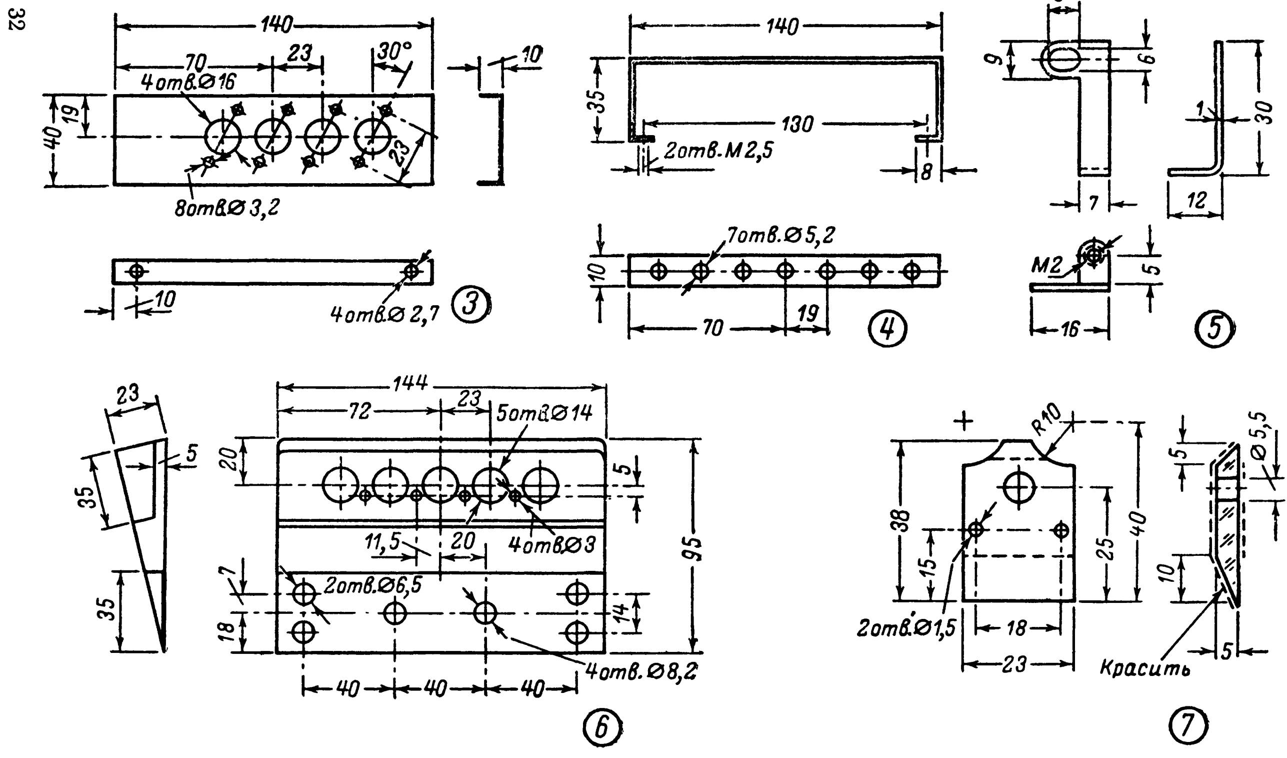

140
70
23
30°
10
4отв.Ø16
40
19
23
8отв.Ø3,2
10
4отв.Ø2,7
3
140
35
130
2отв.М2,5
8
7отв.Ø5,2
10
70
19
4
9
6
1
30
7
12
М2
5
16
5
23
5
35
35
144
72
23
5отв.Ø14
20
5
11,5
20
4отв.Ø3
95
7
2отв.Ø6,5
14
18
4отв.Ø8,2
40
40
40
6
R10
Ø5,5
5
38
40
25
15
10
2отв.Ø1,5
18
23
5
Красить
7

Рис. 21.

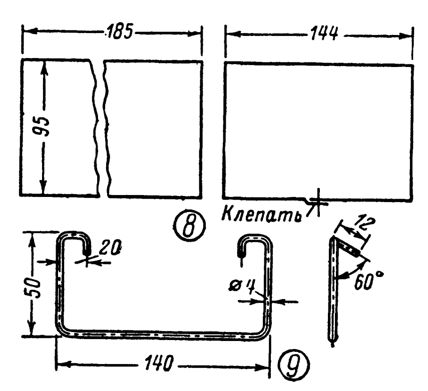


Рис. 21. Чертежи деталей корпуса.

малая скошенная поверхность— напротив отверстия десятичного знака (диаметр 3 *мм*) на лицевой панели (отверстия в шасси для крепления светопроводов на рисунке не показаны). В отверстия диаметром 5 *мм* в каждый светопровод вставляется колба лампы. Для того чтобы лампы не выпали из отверстия, они сзади прижаты полоской из губчатой резины, вставленной между цоколем ламп и кронштейном *3*.

Лампа, указывающая полярность измеряемого напряжения, находится за фильтром, слева от цифровых индикаторов. Перед лампой установлена маска с изображением знака «+». Так как лампы работают при пониженном напряжении питания, необходимом для уравнивания их яркости с яркостью свечения цифровых индикаторов, то срок службы их достаточно большой. Поэтому для простоты конструкции лампы не имеют патронов, а провода подпаиваются непосредственно к цоколю.

В нижней части панели находятся отверстия для осей переключателей, кнопки и тумблера одиночного измерения. В левом нижнем углу панели закреплены два гнезда для подключения измеряемого напряжения.

Прибор закрыт стальным кожухом *8* толщиной 0,3 *мм*. Кожух крепится снизу к шасси четырьмя винтами с резьбой М2,5.

Снизу к кожуху на петлях крепится откидная подставка-скоба *9*, позволяющая приподнять переднюю часть прибора для удобства считывания показаний с цифровых индикаторов.

Кожух и задняя стенка покрыты декоративной молотковой эмалью, козырек и подставка-скоба хромированы.

НАСТРОЙКА ПРИБОРА

Настройка прибора, содержащего большое количество каскадов различного назначения, достаточно сложна и требует применения следующих измерительных приборов: два осциллографа (С1-4 с длительным послесвечением экрана и любой импульсный); два ламповых вольтметра (для измерения переменного и постоянного напряжений типа А4-М2 и любой импульсный); генератор прямоугольных импульсов, позволяющий получать импульсы длительностью от 100 *мксек* до 500 *мсек* с амплитудой до 10 *в*, а также процентный цифровой мост типа Е6-9 (или полуавтоматический цифровой процентный мост типа Р337).

Перед установкой элементов на платы их следует тщательно проверить, так как в случае замены неисправных деталей, впаянных в печатные платы, возможно повреждение печатных проводников. Обязательно нужно проверить электролитические конденсаторы (особенно типа ЭМ) на сопротивление утечки. Сопротивление утечки проверяется омметром и должно быть не менее 300 *ком*.

Транзисторы проверяются прибором типа ИПТ-1; полупроводниковые диоды — омметром Транзисторы, установленные в модулях *М1*, *М2* и *М3*, должны иметь одинаковые характеристики в каждой паре. Коэффициенты усиления по току α транзисторов должны быть не менее 0,96. Транзисторы, установленные в первом каскаде усилителя T_1 и T_2, должны обладать возможно большим коэффициентом усиления по току α. Вместо транзисторов типа П402 можно применять в первом каскаде усилителя транзисторы типа П403 или П416.

Настройку узлов вольтметра удобнее производиь от отдельного источника питания, позволяющего получить напряжение +27 *в* и —27 *в* и обладающего большой емкостью.

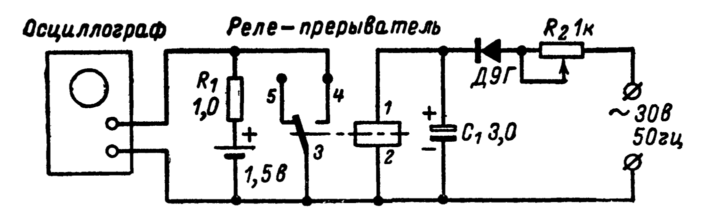


Рис. 22. Схема настройки реле-прерывателя.

Усилитель, расположенный на плате *У*, следует настраивать, начиная с регулировки реле-прерывателя P_{16} до постановки его на печатную плату. Для регулировки реле нужно осторожно прорезать острым ножом кольцевую канавку на корпусе на расстоянии 1 *мм* от торца, на котором расположены выводы, отделить корпус от реле и подогнуть наружный контакт в направлении к катушке. Подгибать контакт удобнее при работающем реле, включенном по схеме, изображенной на рис. 22, наблюдая импульсы на экране осциллографа. Для хорошей работы реле-прерывателя нужно добиться минимального хода якоря, при котором еще происходит устойчивое переключение контактов; при этом ширина импульсов, наблюдаемых на экране осциллографа, должна приближаться к половине периода. Более точно длительность импульсов подбирается переменным сопротивлением R_2 и емкостью C_1; при этом происходит затягивание отпускания якоря реле за счет заряда, накопленного емкостью. В результате настройки реле должно обеспечить получение прямоугольных импульсов с частотой следования 50 *гц* при скважности два. После установки реле-прерывателя на плату *У* следует еще раз отрегулировать длительность прямоугольных импульсов, подав на контакты *1*, *2* платы переменное напряжение 30 *в* а на контакты *2*, *3* — постоянное напряжение 5 *в*. Регулировка длительности импульсов производится переменным сопротивлением R_{16}.

Для настройки усилителя следует припаять перемычку между контактами *2* и *5* платы, к контактам *2* и *7* припаять крайние точки потенциометра R_{15} сопротивлением 10 *ком*, а движок потенциометра припаять к контакту *10*. К контакту *8* подключить источник напряжения — 27 *в*, а к контакту *3* — регулируемое напряжение постоянного тока Напряжение должно регулироваться в пределах от 0,5 *мв* до 0,5 *в*.

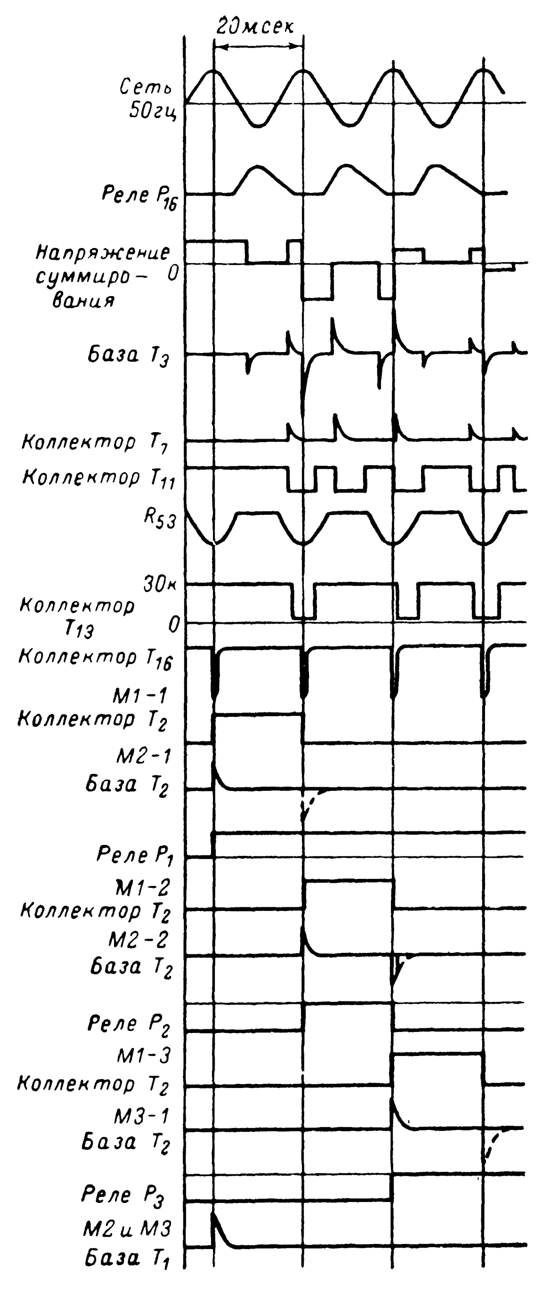


Рис. 23. Форма напряжений в цепях схемы.

После подачи питания надо проверить напряжение в точках, указанных на схеме рис. 4 и при необходимости произвести регулировку напряжения на коллекторе транзистора T_1 подбором сопротивления резистора R_{23}. При работающем реле-прерывателе на входе усилителя должны наблюдаться прямоугольные импульсы, амплитуда которых будет плавно изменяться при регулировке напряжения от 0,5 *мв* до 0,5 *в*; на выходе усилителя при этом должны наблюдаться импульсы положительной полярности с амплитудой не менее 0,5 *в*. Форма сигналов на входе и выходе усилителя показана на рис. 23.

Сопротивления делителя образцовых напряжений (плата *Д*) и делители входных напряжений подбираются при помощи цифрового процентного моста. Каждое сопротивление состоит из двух последовательно включенных резисторов. Величины допустимых отклонений номинальных значений сопротивлений резисторов, указанных в схеме, приведены ниже:

Резисторы	Допустимые отклонения сопротивлений, %
$R_1 - R_7$, R_{17}, R_{87}	0,05
R_{84}, R_{85}, R_{86}	0,1
R_8, R_{88}	0,2
R_{81}, R_{82}, R_{88}, R_{89}	0,5
R_{79}, R_{80}	1
R_{77}, R_{78}, R_{90}	2
R_{76}	5
R_9	10

Для обеспечения указанных точностей сначала отбираются резисторы с ближайшими меньшими к номинальному значению величинами сопротивлений, а затем подбираются недостающие части сопротивлений за счет подбора второго резистора, включенного последовательно. Если удастся подобрать сопротивления с большей точностью, чем указано в таблице, то погрешность измерения вольтметром напряжений будет меньше указанной в разделе «Параметры».

Подобранные резисторы припаиваются к переключателю поддиапазонов измерения и на плату делителя образцовых напряжений.

Настройка платы *Р* производится следующим образом: сначала подбираются величины сопротивлений резисторов R_{65} и R_{75} таким образом, чтобы токи через стабилитроны $Д_{16}$ и $Д_{20}$ были в пределах 5—8 *ма*.

Ждущие мультивибраторы на транзисторах T_{11}, T_{12}, T_{14}, T_{15}, T_{17} и T_{18} требуют подбора длительности получаемых на выходе импульсов. Ждущий мультивибратор на транзисторах T_{11}, T_{12} должен срабатывать при подаче на конденсатор C_{21} (контакт *1*) импульса положительной полярности длительностью около 1 *мсек* и амплитудой 0,5 *в*. Длительность импульса на выходе схемы (контакт *2*) регулируется подбором сопротивления резистора R_{49} и должна быть 8 *мсек*.

Ждущий мультивибратор на транзисторах T_{17}, T_{18} срабатывает при поступлении на конденсатор C_{26} (контакт *14*) отрицатель-

ного импульса амплитудой 5 *в*. Длительность импульса на выходе схемы (контакт *13*) должна быть в пределах 480—520 *мсек* и регулируется путем изменения емкости конденсатора C_{27} и сопротивления резистора R_{72}.

Схема формирования тактовых импульсов регулируется следующим образом: подбором сопротивления резистора R_{62} необходимо получить длительность импульса на коллекторе T_{15}, равную 5 *мсек*, относительно начала отрицательного полупериода переменного напряжения, подаваемого к контакту *9*. Тактовые импульсы на коллекторе транзистора T_{16} должны быть отрицательной полярности с амплитудой 10—15 *в* и длительностью 1—2 *мсек*.

Настройка схемы совпадений и электронного ключа заключается в подборе величины сопротивления резистора R_{57} для получения на базе транзистора T_{13} положительного смещения +0,5 *в*. При поступлении одновременно на выходы *5* и *6* схемы совпадений отрицательного напряжения на базе транзистора T_{13} появится отрицательное напряжение и сопротивление цепи для отрицательного напряжения, приложенного к коллектору, будет близко к нулю — транзистор полностью открыт. Формы импульсов на элементах схемы указаны на рис. 23.

Плата стабилизатора напряжений (плата *С*) не требует какой-либо настройки за исключением регулировки выходного напряжения потенциометром R_{47}. При регулировке напряжения стабилизатора схему следует отключить, а напряжение проверять на эквиваленте нагрузки сопротивлением 70 *ом*. Эквивалент нагрузки включается между корпусом прибора и контактом *7* платы *С*.

Триггеры модулей *М1*, *М2* и *М3* не требуют настройки при условии, что в них установлены заведомо исправные детали. Необходимо только проверить надежность срабатывания реле, включенных в плечи триггеров *М2* и *М3*. Для проверки переключений триггеров последовательно подаются положительные импульсы на контакты *1* и *8* триггеров модулей *М2* и *М3* и отрицательные импульсы — на контакты *7* и *8* модуля *М1*. Амплитуда импульсов должна быть 3—5 *в*, а их длительность 1—2 *мсек*. При переключении управляющего импульса с одного входа триггера на другой триггер должен переключиться из одного устойчивого состояния в другое.

После того как платы будут настроены и смонтированы на шасси прибора, можно приступить к общей настройке.

Сначала следует проверить работу временного распорядителя импульсов и счетных триггеров. Для этой проверки нужно отключить схему формирования тактовых импульсов, а на контакты *7* модулей *М1* подавать одиночные тактовые импульсы от генератора. За переключением триггеров удобно наблюдать по изменению показаний цифровых индикаторов. Для постоянного включения ЦИ нужно отключить реле P_{17}, подав на контакт *4* модуля *М2-12* отрицательный импульс при отключенных проводах от контактов *4* и *8*. Перед началом цикла нужно привести счетные триггеры в исходное состояние, подав на контакты *8* модулей *М2* и *М3* положительный импульс; при этом ЦИ должны показать «0000». Для запуска цикла пересчета нужно перевести переключатель $П_3$ вправо и нажать кнопку *К*; при этом должны включиться реле P_1 и загореться лампа $Л_6$ под знаком «+». При подаче следующего тактового импульса лампа должна погаснуть, а на ЦИ должно появиться число «800» (включится реле P_2). При следующем тактовом импульсе вместо числа «800» должно появиться число «400» и т. д.

(см. стр. 18, изменение образцового напряжения при включении реле).

После завершения цикла нужно на контакт *5* платы *Р* подать отрицательное напряжение величиной 5 *в*, а на контакт *6* отрицательное напряжение — 30 *в* и повторить цикл пересчета; при этом показания ЦИ должны суммироваться. В конце цикла ЦИ должны показать число «1599». Таким способом проверяется работа схемы совпадений и электронного ключа.

Работа усилителя проверяется совместно со ждущим мультивибратором, собранным на транзисторах T_{11} и T_{12}. Для проверки их совместной работы к контакту *2* платы *Р* нужно подключить электронный осциллограф и наблюдать импульсы, сформированные мультивибратором при переключении временного распределителя импульсов. Ждущий мультивибратор должен устойчиво запускаться во всем диапазоне образцовых напряжений (при показаниях ЦИ от «800» до «1» и от «800» до «1599»). Суммирование образцовых напряжений (увеличение показаний ЦИ) должно происходить при наличии на контакте *6* платы *Р* отрицательного напряжения 30 *в*. Если при показаниях ЦИ «0000» ждущий мультивибратор вырабатывает импульсы, следует уменьшить усиление усилителя потенциометром R_{15}; если же мультивибратор не запускается при показаниях ЦИ «1» или «2», то следует увеличить усиление усилителя до устойчивого запуска мультивибратора при показаниях ЦИ «1».

Следующий этап настройки должен производиться после окончательного монтажа всех узлов. Переключатель поддиапазонов измерения устанавливается на диапазон 1 *в*, переключатель режима работы — на непрерывное измерение, а переключатель рода работы — на отметку «0». На цифровых индикаторах при этом должны периодически на время 0,5 *сек* появляться цифры «0000». Если на правом крайнем индикаторе нуль не устанавливается, то нужно вращением потенциометра установки нуля, расположенного на задней стенке прибора, установить нуль последней значащей цифры.

После этого переключатель рода работ нужно поставить в положение «+1,019» и вращением соответствующего потенциометра добиться, чтобы цифровые индикаторы показывали тоже цифру 1,019. Затем переключатель перевести в положение «—1,019» и повторить регулировку в том же порядке.

Следует обратить особое внимание на то, что при работе с вольтметром его **нельзя переворачивать**, так как при этом нормальный элемент, служащий источником эталонного напряжения для калибровки, будет на некоторое время выведен из строя. Даже после перемещения или резких толчков вольтметра требуется до 2—3 *ч* для успокоения нормального элемента. Из этих соображений нормальный элемент лучше установить в последнюю очередь, после того как вольтметр будет окончательно настроен и проверен. При настройке же нормальный элемент лучше установить отдельно и подключить к схеме длинными проводами.

После того как вольтметр откалиброван, переключатель рода работ нужно установить на отметку «И» или «Ф» (измерение без фильтра фона или с фильтром). Подавая на вход прибора калиброванное напряжение от внешнего источника, нужно проверить точность измерения вольтметром напряжений на всех поддиапазонах измерения.

При переводе переключателя режима измерения в положение одиночного измерения (вправо) показания ЦИ должны фиксиро-

ваться после окончания цикла измерения до тех пор, пока не будет нажата кнопка K, после чего должен повториться один полный цикл измерения.

Настройка должна закончиться подбором яркости свечения ламп подсвета десятичных знаков изменением сопротивлений резисторов R_{10}, R_{11} и R_{12}. Яркость знаков должна быть немного больше яркости свечения цифр ЦИ.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3
Параметры, принцип действия и блок-схема . . . 4
Принципиальная схема 7
Применяемые детали 22
Конструкция 23
Настройка прибора 33

Владимир Константинович Сонин

Цифровой вольтметр на транзисторах

Редактор *А. С. Еременко*
Обложка художника *А. М. Кувшинникова*
Технический редактор *М. П. Осипова*
Корректор *И. Д. Панина*

Сдано в набор 23/X 1970 г.
Подписано к печати 4/VIII 1971 г. Т-13337
Формат 84×108[1]/32 Бумага типографская № 2
Усл. печ. л. 2,1 Уч.-изд. л. 2,48
Тираж 45 000 экз. Цена 11 коп. Зак. 1433

Издательство „Энергия". Москва, М-114,
Шлюзовая наб., 10.

Московская типография № 10 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР.
Шлюзовая наб., 10.

Цена 11 коп.

Цена 11 коп.